

Formation R

Benoît Lepage

2025-08-25

Contents

1	Bienvenue sur cette formation au logiciel R	5
1.1	Pourquoi choisir R ?	5
1.2	Téléchargez le logiciel R	5
1.3	Téléchargez un IDE (RStudio recommandé)	7
1.4	Trouver de l'aide sur R	10
1.5	Conventions d'écriture	11
2	Les objets dans R	13
2.1	Manipuler les objets dans l'environnement	13
2.2	Principaux types de données	14
2.3	Principales structures de données	16
2.4	Objet à une seule valeur (scalaire ou texte)	16
2.5	Les vecteurs atomiques <code>c()</code>	22
2.6	Les listes <code>list()</code>	38
2.7	Les matrices <code>matrix()</code>	41
2.8	Les bases de données <code>data.frame()</code>	47

Chapter 1

Bienvenue sur cette formation au logiciel R

R est un logiciel accessible gratuitement permettant de réaliser des analyses statistiques dans un environnement windows, macOS ou Linux.

1.1 Pourquoi choisir R ?

Le logiciel est gratuit, très complet, avec une communauté d'utilisateurs très active dans le monde entier. Il est fréquent que les nouvelles méthodes d'analyses statistiques développées dans les équipes académiques soient d'abord mises à disposition sur R.

Le logiciel R repose sur l'utilisation de **scripts** dans lesquels nous allons **programmer** les analyses statistiques. Cette écriture sous forme de programmation peut paraître austère à première vue, mais est indispensable pour permettre la **reproductibilité** et la **transparence** des analyses. La même démarche de programmation est utilisée dans tous les logiciels statistiques professionnels (Stata, SAS, Python, Matlab, etc).

Pour utiliser R, les premières choses à faire sont de :

- télécharger le logiciel R
- et télécharger un Environnement de Développement Intégré (IDE) comme RStudio.

1.2 Téléchargez le logiciel R

Vous pouvez télécharger la dernière version stable du logiciel R sur le site du R project.

Cliquez sur “download R”, choisissez un site miroir (par exemple un des sites en France).

Puis téléchargez la version de R en fonction de votre système d'exploitation (Windows, macOS ou Linux).

Enfin, installez R à partir du fichier d'installation que vous venez de télécharger.

1.2.1 Ouvrez le logiciel R

Si vous ouvrez le logiciel R, vous aller trouver l'interface graphique de R (*RGui* pour *R Graphical user interface*). Il est possible de faire vos analyses statistiques à partir de cette interface graphique, mais elle est très très austère.

Plutôt que d'utiliser cette interface RGui, nous vous recommandons fortement d'utiliser un Environnement de Développement Intégré (IDE), comme RStudio, qui vous facilitera grandement la vie pour utiliser un logiciel statistique qui repose sur de la programmation.

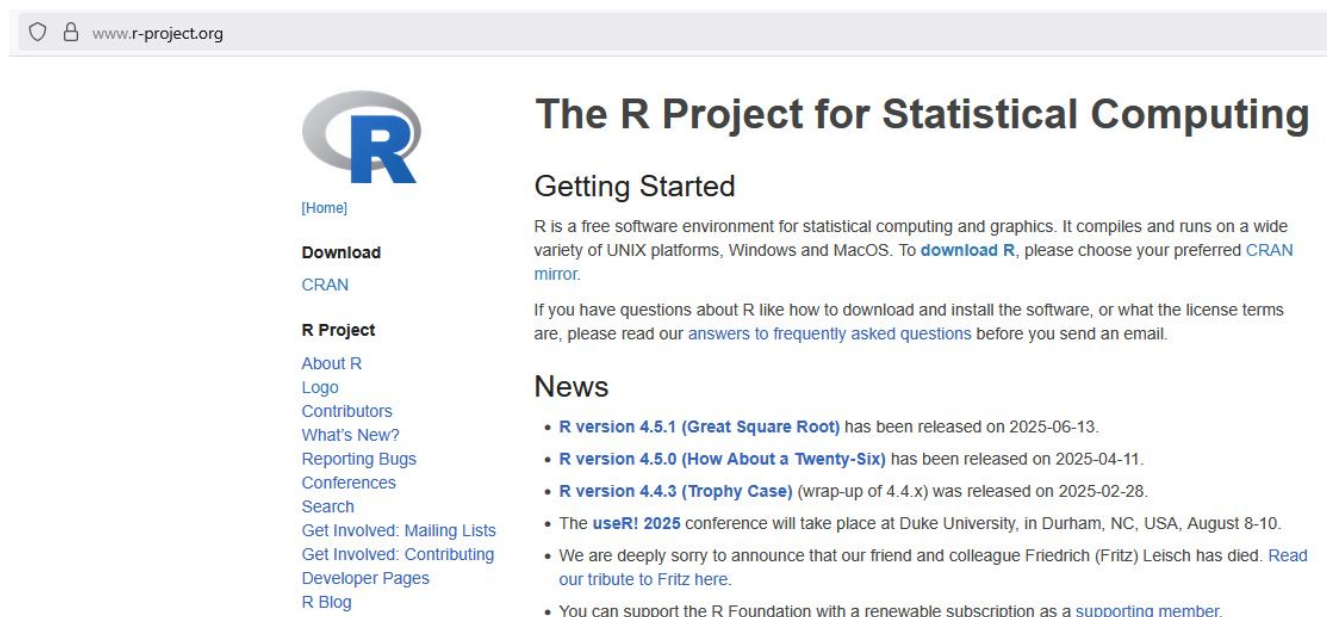


Figure 1.1: Site du R project, en juillet 2025

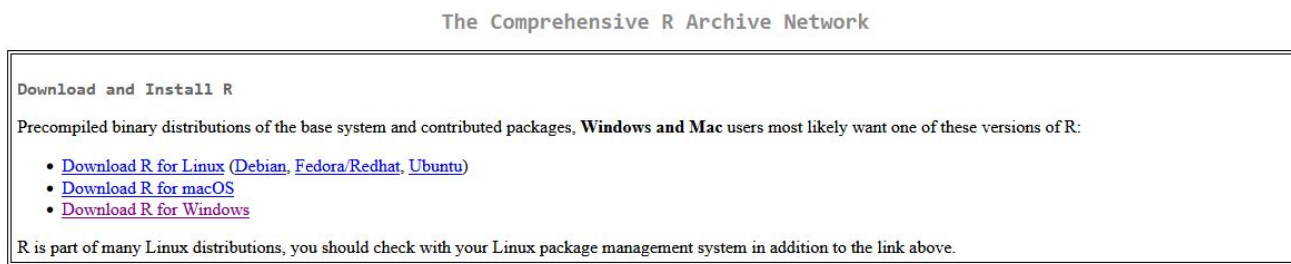


Figure 1.2: Choisissez la version adaptée à votre système d'exploitation

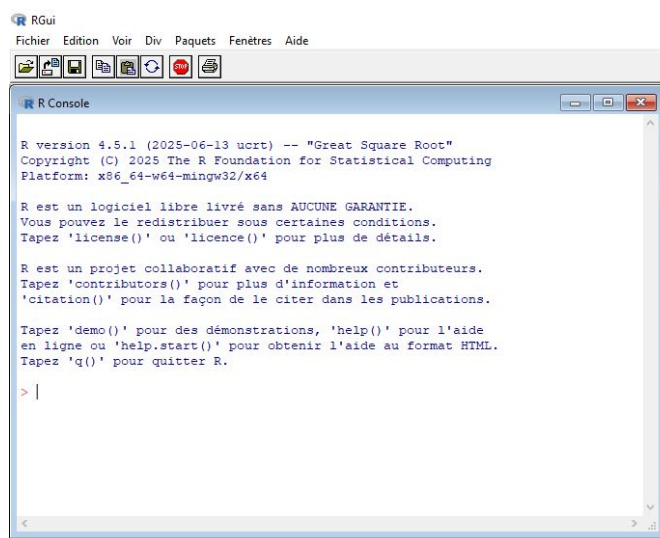


Figure 1.3: L'interface graphique de R (RGui)

1.3 Téléchargez un IDE (RStudio recommandé)

RStudio est un environnement qui permet d'utiliser R, mais également d'autres logiciels de programmation comme Python, SQL, Stan, C++, etc. Cet environnement vous facilitera le travail pour :

- éditer vos scripts de programmation,
- accéder à la console,
- visualiser vos environnements de travail avec les fichiers et les objets qu'il contient,
- visualiser vos sorties graphiques et certaines tables d'analyses,
- visualiser vos données,
- visualiser les fichiers d'aide,
- gérer les *packages* permettant de faire des analyses spécifiques,
- et bien d'autres choses encore.

Par exemple, le tutoriel que vous êtes en train de lire a été créé à partir du package `bookdown` avec le logiciels R, au sein de l'IDE RStudio,

Vous pouvez télécharger la dernière version de RStudio sur le site de la compagnie Posit. Choisissez la version qui est adaptée à votre système d'exploitation (Windows, macOS ou Linux).

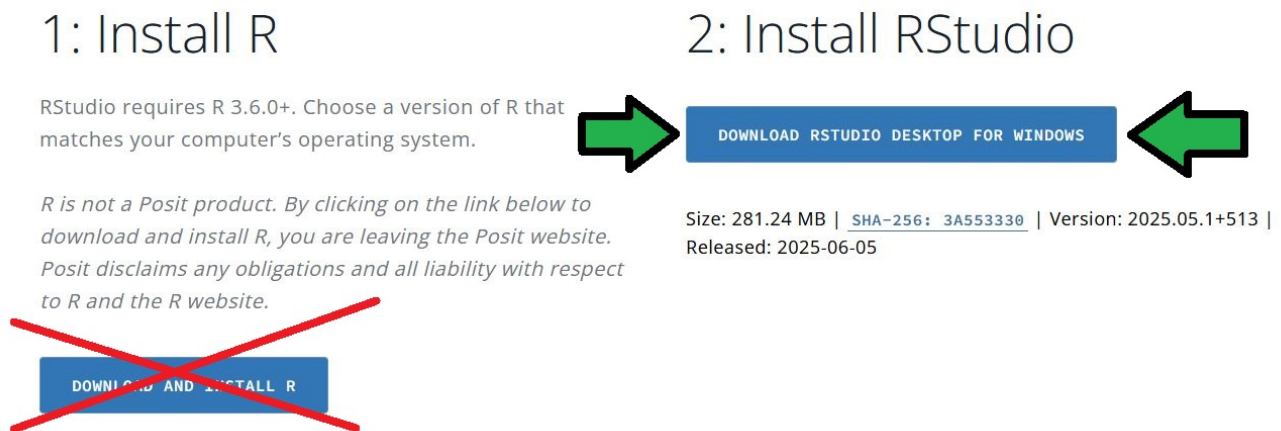


Figure 1.4: téléchargez RStudio

Puis, installez RStudio à partir du fichier d'installation que vous venez de télécharger.

1.3.1 Ouvrez l'IDE RStudio

Ouvrez RStudio, puis commencez par ouvrir un **script**

- à partir du menu File > New File > R script
- ou bien en utilisant le raccourci Ctrl+Maj+N sur windows
- ou bien en cliquant sur le petit fichier blanc avec un + vert en haut à gauche, puis choisir "R script"

L'interface de RStudio contient un menu, 4 quadrants et des sous-menus et boutons dans chaque quadrant.

Les menus qui vous seront le plus utiles sont :

- Dans le menu principal,

OS	Download	Size	SHA-256
Windows 10/11	RSTUDIO-2025.05.1-513.EXE ↓	281.24 MB	3A553330
macOS 13+	RSTUDIO-2025.05.1-513.DMG ↓	607.30 MB	76E1538B
Ubuntu 22/Debian 12	RSTUDIO-2025.05.1-513-AMD64.DEB ↓	209.78 MB	89A68B37
Ubuntu 24	RSTUDIO-2025.05.1-513-AMD64.DEB ↓	209.78 MB	89A68B37
Fedora 41	RSTUDIO-2025.05.1-513-X86_64.RPM ↓	224.98 MB	6A97DF24

Figure 1.5: téléchargez RStudio

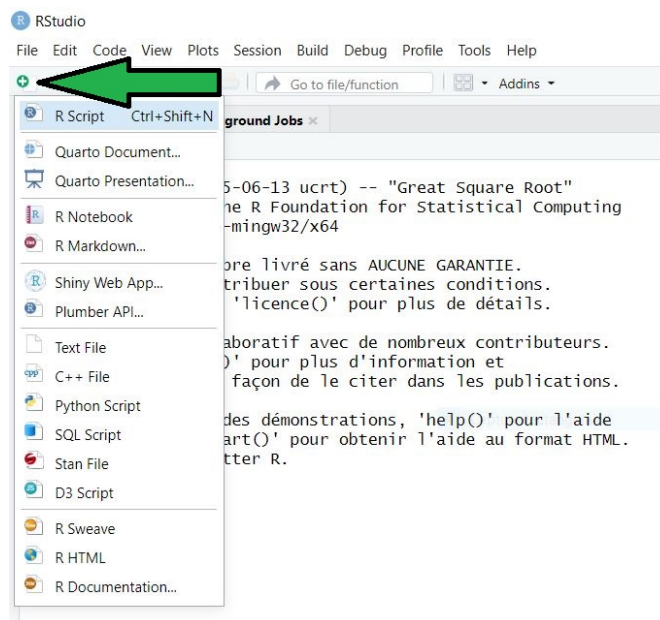


Figure 1.6: Ouvrir un nouveau script

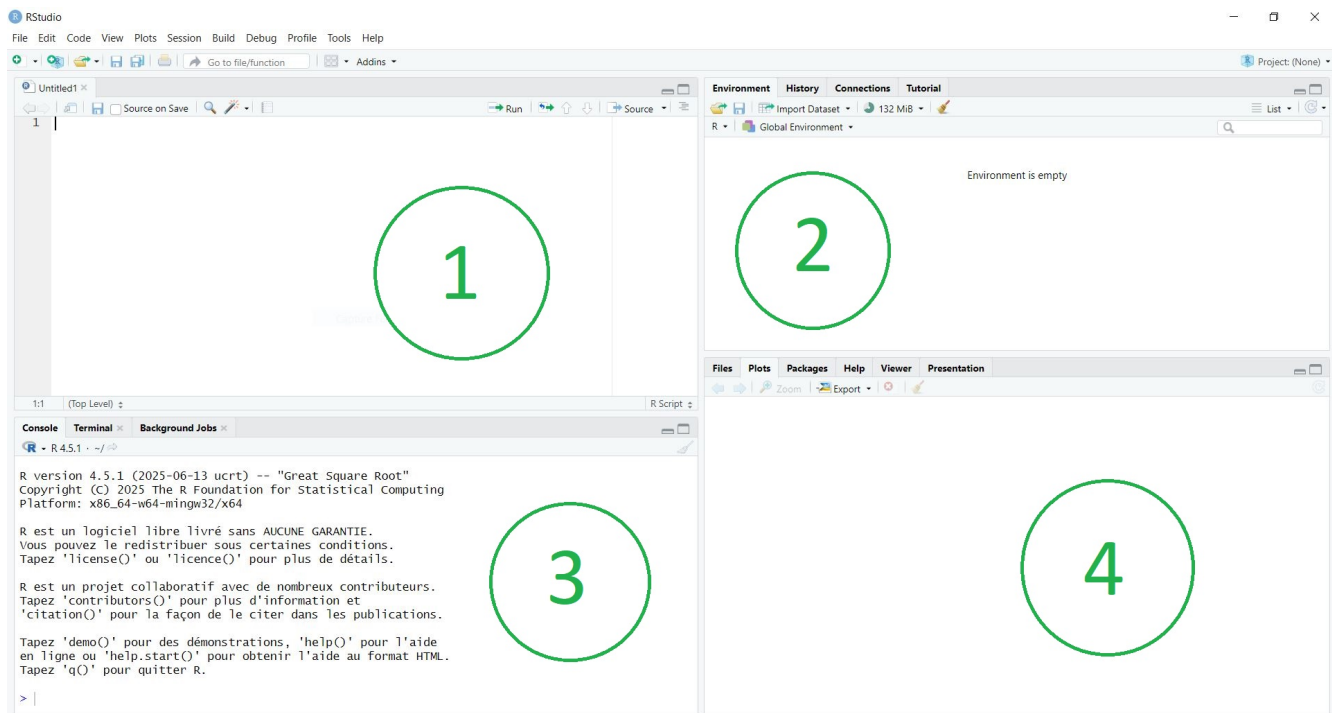


Figure 1.7: Les 4 cadrants de RStudio

- le menu *File* vous permettra de créer de nouveaux fichiers, d'ouvrir des fichiers déjà existants, de sauvegarder vos fichiers, d'importer des bases de données, etc.
- le menu *Tools* > *Install packages...* pour installer de nouveaux packages
- le menu *Tools* > *Global Options...* vous permet de choisir la version du logiciel R à utiliser (onglet “R General”) ou bien de changer l'aspect graphique de l'environnement RStudio (onglet “Appearance”, puis choisissez un “Editor theme”, avec différentes interfaces claires ou sombres)
- Au sein du **script** (cadrant 1)
 - le bouton “disquette” permet de sauvegarder votre script
 - le bouton “run” permet de faire tourner votre programme d'analyse (les lignes que vous avez sélectionnées). Par exemple, tapez la commande suivante dans le script, sélectionnez la ligne et cliquez sur le bouton “run” (ou avec un raccourci clavier **ctrl+entrée** sur windows, ou encore **command+entrée** sur macOS).

```
print("Hello Toulouse")
```

et vous devriez voir la commande `> print("Hello Toulouse")` puis son résultat `"Hello Toulouse"` dans l'onglet **console** du cadrant 3.

- Au sein du cadrant 3, l'onglet le plus utile pour pour les débutants est l'onglet **console**
 - la console est la même que la console affichée dans l'interface RGui du logiciel R que l'on a vu au paragraphe 1.2.1.
 - la console commence par afficher la version de R en cours d'utilisation
 - vous pouvez y saisir des commandes et obtenir directement leurs résultats, par exemple si vous tapez dans la console `4+9`, vous obtiendrez directement le résultat `13`. **Attention, les commandes que vous saisissez directement dans la console ne seront pas sauvegardées. Si vous voulez sauvegarder des commandes, il faut utiliser le script (cadrant 1)**

4+9

[1] 13

- Au sein du cadran 2, l’onglet le plus utile pour les débutants est l’onglet **Environnement**
 - cet onglet vous permettra de visualiser les “objets R” créés pendant vos analyses.
 - Par exemple si vous saisissez `v <- 1:10` dans la console, vous allez voir apparaître l’objet `v` dans l’environnement de travail (il s’agit d’un vecteur de 1 à 10, nommé “v”).
- Au sein du cadran 4, les onglets les plus utiles pour les débutants sont :
 - l’onglet “File” qui contient les dossiers et fichiers au sein d’un dossier de travail (voir le chapitre 3 pour créer et organiser un dossier de travail associé à un “projet R”)
 - l’onglet “Plots” où vous retrouverez vos sorties graphiques. Au sein de cet onglet, vous trouverez un menu pour exporter vos graphiques selon différents formats. Des boutons permettent également de zoomer et d’effacer les graphiques. Par exemple, si vous saisissez `hist(rnorm(10000))` dans la console, un histogramme d’une distribution normale centrée réduite va apparaître. Vous pouvez effacer la figure en cliquant sur le bouton avec la croix rouge (efface la figure actuelle) ou le balet (efface l’ensemble des figures).
 - l’onglet “Packages” où vous pourrez activer, désactiver ou mettre à jour les packages qui ont été téléchargés.
 - l’onglet “Help” où vous trouverez de l’aide. Par exemple si vous saisissez `help(mean)` dans la console, l’aide de la commande `mean` va s’afficher. Vous pouvez également utiliser le champ de recherche de fonctions dans le menu “Help”.

1.4 Trouver de l’aide sur R

De nombreuses ressources sont disponibles pour vous aider à utiliser R :

- Les pages d’aide en ligne de R, qui apparaissent directement dans RStudio. Vous pouvez obtenir de l’aide sur des fonctions et des packages :
 - en appliquant une recherche par mot clé dans le champ de recherche de l’onglet “help”
 - en utilisant directement dans la console la fonction `help.search()` ou `??` associée à un mot clé (par exemple `help.search(student)` ou `??student`), ou la fonction `help()` associée à une fonction (par exemple `help(t.test)` ou `?t.test`)
 - quand vous rencontrerez une nouvelle fonction (dans ce cours ou bien dans votre pratique), nous vous conseillons d’aller systématiquement regarder l’aide de cette fonction pour bien comprendre comment l’utiliser.
 - Ces pages d’aide suivent la structure suivante :
 - * une partie “Description” qui décrit en quelques phrases ce que fait la fonction
 - * une partie “Usage” qui décrit la syntaxe de la fonction avec ses arguments
 - * une partie “Argument” qui précise comment renseigner les arguments de la fonction
 - * une partie “Detail” qui décrit en détail comment utiliser la fonction et ses arguments
 - * une partie “Value” qui décrit les sorties (les résultats) de la fonction, avec les éventuels sous-objets de la sortie
 - * une partie “Exemples” qui indique quelques exemple que vous pouvez directement lancer en cliquant sur “Run examples”
- Des fiches “mémoires” *cheat sheets* qui résument les principales fonctions :
 - pour les commandes R bases
 - des bonnes pratiques sur R
 - méthodes de visualisation avec le package `ggplot2`
 - méthodes de manipulation de données avec le package `tidyr`

- méthodes de transformation de données avec le package `dplyr`
 - l'utilisation du package `data.table`
 - l'utilisation du package `stringr` pour manipuler les chaînes de caractères, avec la fiche `stringr`
 - la manipulation de dates Dates and times with `lubridate` et la fiche `lubridate`
- De nombreux livres et tutoriels disponibles gratuitement en ligne :
 - Le guide R de Joseph Larmarange, est un guide très complet et didactique, en français
 - L'Epidemiologist R Handbook est un tutoriel en anglais pour l'utilisation de R par des épidémiologistes
 - Software carpentry met à disposition des guides introductifs bien réalisés en anglais, par exemple R for Reproducible Scientific Analysis ou encore Programming with R
 - le livre R for Data Science propose une introduction très complète pour l'analyse de données descriptive principalement basée sur la suite de packages du Tidyverse
 - le package R `swirl` propose une formation interactive directement dans la console de RStudio, téléchargez le package (`install.packages("swirl")`), chargez le package (`library("swirl")`) et laissez vous guider après avoir saisi `swirl()` dans la console.
 - RStudio Education liste plusieurs ressources intéressantes pour les débutants
 - Le site CRAN a des manuels assez complets, par exemple la page R Language Definition est une introduction assez complète au langage de programmation R. La page CRAN Task Views liste les packages qui sont disponibles par thématique ou type d'analyse.
 - Rechercher à l'aide d'un moteur de recherche (google, DuckDuckGo, Bing, etc). Ces recherches vous amèneront régulièrement vers des forums de discussion comme `stackoverflow` ou `stackExchange`. Si vous rencontrez une erreur ou une difficulté, il y a toutes les chances que d'autres personnes aient déjà rencontré ces erreurs et difficultés avant vous, et que des solutions détaillées soient proposées dans ces forums.
 - Les chatbots de type GPT, Copilot ou Gemini : dans le cadre de votre formation au logiciel R, nous vous déconseillons l'utilisation de ces outils basés sur des LLM. Ces outils posent de nombreux problèmes en termes de transparence, de respect de droit d'auteur, d'impact environnemental, de déqualification (délégation de compétences pour rechercher de l'information, perte d'esprit critique), de dépendance aux Gafams, de dégradation des systèmes d'information, etc. Par ailleurs, bien qu'ils peuvent apporter des solutions fonctionnelles, il est bien plus utile d'avoir une bonne compréhension des bases de programmations sur R avant d'utiliser de tels outils : sans une bonne compréhension de la logique de programmation et des principales fonctions de R, vous aurez des difficultés à évaluer la fiabilité des solutions proposées, à vous débloquez en cas de problèmes, ou encore à adapter vos prompts pour obtenir de meilleures réponses. Les ressources décrites précédemment devraient vous permettre d'apporter efficacement des réponses à vos questions.

1.5 Conventions d'écriture

Certaines conventions ont été proposées pour faciliter l'écriture et la lecture du code de programmation dans R. Elles ne sont pas obligatoires, mais nous vous encourageons à les suivre.

Par exemple, le *Tidyverse style guide* :

- nommer les variables et les fonctions en lettres minuscules, à l'aide de mots et de chiffres séparés par `_` (*underscore*). Par exemple `csp_1`. Cette convention fait référence au style "snake case"
- ajouter un espace après une virgule, par exemple `x[2, 5]`
- ajouter des espaces avant et après les opérateurs arithmétiques, par exemple `x <- (1 + 2) / 5`, à quelques exceptions près (pas d'espace avant ou après le signe "puissance" `^`) `y <- x^2 + 3`

Chapter 2

Les objets dans R

La programmation R repose sur des *objets*, qui apparaîtront dans la fenêtre *Environment* de RStudio.

Les objets les plus élémentaires dans R sont des **vecteurs**. Un vecteur contient une série de valeurs (des nombres, des chaînes de caractères, ou des données plus complexes). Il y a deux types de vecteurs :

- les **vecteurs atomiques** (les valeurs d'un vecteur atomique doivent toujours être du même type),
- les **listes** (les valeurs d'une liste peuvent être de différents types).

2.1 Manipuler les objets dans l'environnement

Voici quelques commandes de gestion des objets dans votre environnement :

- dans la console, commencez par créer les objets suivants. Pour **assigner une ou plusieurs valeurs à un objet**, on utilise une flèche dirigée vers la gauche <-. Vous verrez apparaître ces objets dans la fenêtre *Environment*.

```
## note : le signe dièse (#) permet d'ajouter des commentaires dans le code
## - le 1er objet est un vecteur de 10 nombres entiers de 1 à 10
## - le 2ème objet est un vecteur de 3 lettres A, B et C
## - le 3ème objet est un vecteur de 2 réels, calculés par 2 opérations
## - le 4ème objet est une fonction qui ajoute 2 aux éléments du vecteur x
## - le 5ème objet est un scalaire égal à 42
objet_1 <- c(1:10)
objet_2 <- c("A", "B", "C")
objet_3 <- c(10 / 3, 4 * 5)
objet_4 <- function(x) {x + 2}
objet_5 <- 42
```

- la commande `ls()` permet de **lister** les objets dans l'environnement.
- la commande `rm()` permet de **supprimer** (*remove*) un ou plusieurs objets de l'environnement.

```
ls()
```

```
## [1] "objet_1" "objet_2" "objet_3" "objet_4" "objet_5"
```

```
rm(objet_2, objet_5)
rm(list = ls()) # pour supprimer tous les objets présents dans l'environnement
```

Conseils pour nommer un objet dans R :

- Utiliser des noms courts, mais lisibles, faciles à comprendre
- Les noms doivent commencer par une lettre (pas par un nombre) et ne peuvent pas contenir d'espace. A noter qu'ils peuvent contenir des points, comme par exemple `nom.variable`.
- Evitez d'utiliser des noms de variables et de fonctions déjà existants dans R (par exemple `mean` qui risque de porter à confusion avec la fonction `mean()` : il vaut mieux utiliser `mean_variable`)
- Ecrire en minuscule avec underscore pour séparer les mots (par exemple `date_naissance`)

2.2 Principaux types de données

Les données peuvent être de différents types. Les 4 principaux types sont :

- les **nombres réels** (`?double`), par exemple 12.43.
- les **nombres entiers** (`?integer`). Les nombres entiers sont saisis en ajoutant L à droite du nombre, par exemple 5L.
- les **chaînes de caractères textuels** (`?character`), définis avec des guillemets simples ou doubles , par exemple 'bonjour' ou "au revoir"
- les **valeurs logiques** (`?logical`), avec deux valeurs possibles :
 - valeur booléenne *vraie*, notée TRUE ou bien T
 - valeur booléenne *fausse*, notée FALSE ou bien F

On peut également trouver des types de données un peu plus sophistiquées, construites à partir des principaux types :

- des **variables qualitatives** qui peuvent être **nominales** (`?factor`) ou **ordinales** (`?ordered`). Ces variables sont construites sur des nombres entiers.
- des **dates** (`?Date`), qui sont construites sur des nombres réels.
- des **dates-heure** (`?POSIXct`), qui sont construites sur des nombres réels.
- des **durées** (`?difftime`), construites sur des nombres réels.

On a également un vecteur particulier qui est le **vecteur nul** et se note NULL. Le vecteur nul a une longueur de 0 et ne peut avoir aucun attribut (les notions de longueur et d'attribut d'un vecteur seront vues plus bas).

2.2.1 Données manquantes

Quel que soit le type de données, les données manquantes se notent NA (not applicable).

Attention à ne pas confondre le vecteur nul NULL et les données manquantes NA.

2.2.2 Décrire le type de l'objet ♠

Les paragraphes avec un ♠ présentent des notions plus avancées, si vous êtes en phase d'apprentissage, vous pouvez aller directement au paragraphe suivant.

On peut décrire quel est le type de l'objet avec les fonctions `typeof` (le type le plus élémentaire), `mode` et `storage.mode` (mode de l'objet et mode de stockage de l'objet selon un regroupement un peu plus large).

Par exemple, les nombres réels (`double`) et les nombres entiers (`integer`) sont du mode `numeric`.

```
## les valeurs réelles ('double') et les entiers ('integer') sont de mode 'numeric'
typeof(2.53) # un réel
typeof(5L) # et un entier
mode(2.53) # sont de mode 'numeric'
mode(5L)
storage.mode(2.53)
storage.mode(5L)

## les chaînes de caractères sont de type et de mode 'character'
typeof(c("hello", "Toulouse"))
mode(c("hello", "Toulouse"))

## les valeurs logiques sont de type 'logical'
typeof(c(TRUE, FALSE, FALSE))
mode(c(TRUE, FALSE, FALSE))
```

x	typeof(x)	mode(x)	storage.mode(x)
2.53	"double"	"numeric"	"double"
5L	"integer"	"numeric"	"integer"
"bonjour"	"character"	"character"	"character"
TRUE	"logical"	"logical"	"logical"
as.Date("2025-07-01")	"double"	"numeric"	"double"

Les fonctions `as.double`, `as.integer`, `as.character`, `as.logical` permettent de forcer par coercition le type d'un objet *en tant que* réel, entier, chaîne de caractères, logique.

```
as.double(5L) # définit un nombre entier en tant que nombre réel
as.integer(4.95) # définit un réel en tant qu'entier, seul l'entier est conservé
as.character(4.95) # définit un nombre en tant que chaîne de caractères

## définir une valeur logique TRUE et FALSE en tant que valeur numérique
## ou en tant qu'entier donne les valeurs 1 et 0, respectivement
as.numeric(TRUE)
as.numeric(FALSE)

## définir le nombre 0 en tant que valeur logique donne la valeur FALSE
as.logical(0)

## définir tout nombre différent de 0 en tant que valeur logique
## donne la valeur TRUE
as.logical(-14)
as.logical(1)
as.logical(4.95)
```

Les fonctions `is.double`, `is.integer`, `is.character`, `is.logical` permettent d'évaluer si un objet est de type réel, entier, textuel, logique.

```
is.double(5L) # FALSE, un nombre de type "entier" n'est pas de type "réel"
# attention, en math, les nombres entiers font partie des réels !
is.integer(4.95) # FALSE, un nombre de type "réel" n'est pas de type "entier"
is.numeric("bonjour") # FALSE "bonjour" est une chaîne de caractères
is.character("bonjour") # TRUE, "bonjour" est bien une chaîne de caractères
is.character(4.95) # FALSE, 4.95 est un objet numérique
```

```
is.logical(1) # FALSE, 1 est un objet numérique
is.logical(as.logical(1)) # TRUE, as.logical(1) = TRUE, qui est un objet logique
is.logical(TRUE) # TRUE est bien un objet logique
```

2.3 Principales structures de données

Les principales structures de données que nous allons détailler dans la suite de ce chapitre sont :

- les **vecteurs atomiques** (`?c()`), qui doivent toujours comporter des valeurs du même type. Les vecteurs qui ne comportent qu'une seule valeur sont appelés des “scalaires” ;
- les **listes** (`?list`), qui sont également des vecteurs, mais peuvent comporter des valeurs de types différents ;
- les **matrices** (`?matrix`, `?array`), qui sont des vecteurs atomiques réarrangés sous forme de tables à 2 dimensions ou plus ;
- les **bases de données** (`?data.frames`). Les bases de données sont des listes de vecteurs atomiques de même longueur. Il existe d'autres formats de base de données qui seront présentés plus tard (avec les packages `tidyverse` et `data.table`).

2.4 Objet à une seule valeur (scalaire ou texte)

2.4.1 Scalaires

Assignez les valeurs 4 et 5 à deux objets

```
x_1 <- 4
x_2 <- 5
```

2.4.2 Opérations mathématiques sur les scalaires

2.4.2.1 Calculatrice

On peut utiliser les opérations classiques, comme sur une calculatrice :

- + pour **additionner**
- - pour **soustraire**
- * pour **multiplier**
- / pour **diviser**
- ^ pour mettre à la **puissance**
- e pour la **notation scientifique**

```
x_1 + x_2 # 4 + 5 = 9
10 - x_1 # 10 - 4 = 6
x_1 * x_2 # 4 * 5 = 20
20 / x_2 # 20 / 5 = 4
x_1^2 # 4^2 = 16
10^-1 # 1/10 = 0.1
25^(0.5) # racine carrée de 25 (puissance 1/2)

## notation scientifique pour les grands et petits nombres
1/1000000 # 1 pour 1 million = 1e-6
1/1e6
1e6 * 1000 # 1 million * 1000 = 1 milliard
```


2.4.2.2 Fonctions mathématiques

Plusieurs fonctions mathématiques de bases sont implémentées nativement dans R :

- `log(x)` ou `log(x, base = exp(1))` pour le **logarithme** népérien,
- `log10(x)` pour le logarithme base 10, `log2(x)` pour le logarithme base 2,
- `log(x, base = b)` pour le logarithme base b,
- `exp(x)` pour l'**exponentielle** de x
- `sqrt(x)` pour la **racine carrée** de x
- `abs(x)` pour la **valeur absolue** de x
- les **fonctions trigonométriques** sont implémentées, avec `cos(x)`, `sin(x)`, `tan(x)` (cf. ?Trig)
- la **constante** π est implémentée avec `pi` (cf. ?Constants)

Si vous appliquez une fonction à une valeur qui ne fait pas partie du domaine de définition de la fonction, le résultat sera une valeur manquante notée **NaN** (*not a number*). Un message d'avertissement va apparaître si vous appliquez une fonction en dehors de son domaine de définition.

Les notions de + l'infini et - l'infini sont notées **Inf** et **-Inf**.

```
## logarithmes et exponentielles
log(1)
log10(100)
log(100, base = 10)
exp(1)

## racine carrée
sqrt(x_2^2)

## valeur absolue
abs(10)
abs(-10)

## fonctions trigonométriques
cos(1)
sin(1)
tan(1)
pi
2 * pi * 10 # circonférence d'un cercle de rayon 10

## si on utilise une valeur en dehors du domaine d'application de la fonction
log(-1) # NaN, car -1 est en dehors du domaine de définition de la fonction log
sqrt(-2) # -2 est en dehors du domaine de définition de la fonction racine carrée

## notions de + ou - l'infini
1 / 0 # [1] Inf
-1 / 0 # [1] -Inf
```

2.4.2.3 Fonctions d'arrondi ♠

Plusieurs fonctions sont disponibles dans R pour arrondir une valeur (cf. ?Round) :

- la fonction `round()` est utile pour arrondir les décimales. Il faut préciser en argument le nombre de chiffres après la virgule. **Attention** : si le nombre se termine par un 5, l'arrondi se fait vers le chiffre pair le plus proche : 4,45 s'arrondit à 4,4 (la valeur arrondie inférieure) et 4,75 s'arrondit à 4,8 (la valeur arrondie supérieure)
- la fonction `signif()` arrondit aux chiffres les plus significatifs (les plus grands)

- la fonction `floor()` arrondit la valeur à l'entier inférieur
- la fonction `ceiling()` arrondit la valeur à l'entier supérieur
- la fonction `trunc()` ne garde que les entiers, sans arrondir

```
## fonction round()
# l'argument digits permet de définir le nombre de chiffres après la virgule
# exemple si vous voulez arrondir à 2 chiffres après la virgule
round(0.09400, digits = 2) # 0.09
round(0.08600, digits = 2) # 0.09
# arrondir à 1 chiffre après la virgule
round(4.450, digits = 1) # 4.4 ; arrondit au chiffre pair le plus proche
round(4.750, digits = 1) # 4.8 ; arrondit au chiffre pair le plus proche
# pour arrondir une valeur 5, le résultat va vers le chiffre pair le plus proche
round(4.5, digits = 0) # 4 ; arrondit au chiffre pair le plus proche
round(1.5, digits = 0) # 2 ; arrondit au chiffre pair le plus proche

## fonction signif()
# on garde les valeurs les plus significative, définie par l'argument digits
signif(123.456789, digits = 1) # 100
signif(123.456789, digits = 2) # 120
signif(123.456789, digits = 3) # 123
signif(123.456789, digits = 4) # 123.5
signif(123.456789, digits = 5) # 123.46 arrondit au chiffre pair le plus proche
signif(4.45, digits = 3) # 4.45
signif(4.45, digits = 2) # 4.4 ; arrondit au chiffre pair le plus proche
signif(4.75, digits = 3) # 4.75
signif(4.75, digits = 2) # 4.8 ; arrondit au chiffre pair le plus proche

## fonction trunc() supprime simplement les décimales
# note : ici, il n'y a pas d'arrondi vers le chiffre pair le plus proche
trunc(123.456) # 123
trunc(4.5) # 4
trunc(1.5) # 1

## la fonction floor() arrondit à l'entier inférieur
floor(4.1) # 4
floor(4.9) # 4

## la fonction ceiling() arrondit à l'entier supérieur
ceiling(4.1) # 5
ceiling(4.9) # 5
```

2.4.3 Concaténation de chaînes de caractères

On peut concaténer deux objets en chaînes de caractères :

- la fonction `paste()` concatène les chaînes de caractères en séparant les valeurs par un espace (argument par défaut, cf `?paste`). Cet argument peut être modifié.
- la fonction `paste0()` concatène les chaînes de caractères sans espace.

```
x1 <- "Bonjour"
x2 <- "Toulouse"
paste(x1, x2)
```

```
## [1] "Bonjour Toulouse"
```

```
paste0(x1, x2)
```

```
## [1] "BonjourToulouse"
```

```
paste(x1, x2, sep = ", ") # ici on sépare x1 et x2 par une virgule et un espace
```

```
## [1] "Bonjour, Toulouse"
```

```
# vous pouvez inclure des nombres qui seront transformés en caractères
paste0(x1, 123, x2)
```

```
## [1] "Bonjour123Toulouse"
```

2.4.4 Valeurs logiques TRUE et FALSE

2.4.4.1 Evaluer des conditions

Nous pouvons utiliser les opérateurs de comparaison ci-dessous (utiles pour évaluer des conditions) :

- `==` ... est égal à ...
- `!=` ... est différent de ...
- `<` ... est inférieur à ...
- `>` ... est supérieur à ...
- `<=` ... est inférieur ou égal à ...
- `>=` ... est supérieur ou égal à ...
- `%in%` ... est inclus dans ...

Par exemple, nous pouvons évaluer les comparaisons suivantes, la réponse attendue est vraie (TRUE) ou fausse (FALSE).

```
5 == 10 # est-ce que 5 est égal à 10 ?
5 != 10 # est-ce que 5 est différent de 10 ?
5 < 10 # est-ce que 5 est inférieur à 10 ?
5 > 10 # est-ce que 5 est supérieur à 10 ?
5 <= 5 # est-ce que 5 est inférieur ou égal à 5 ?
5 >= 5 # est-ce que 5 est supérieur ou égal à 5 ?
5 %in% c(4,5,6) # est-ce que 5 est inclus dans le vecteur (4,5,6) ?
5 %in% c(7,8,9) # est-ce que 5 est inclus dans le vecteur (7,8,9) ?
```

La fonction `identical` permet d'évaluer si deux objets sont exactement égaux. Elle peut s'appliquer à des valeurs simples mais aussi à des objets de plus grandes dimensions (vecteurs, matrices, bases de données, ...)

```
identical(5, 10) # équivalent à la commande 5 == 10
identical(c(1,2,3), c(1,2,3)) # les deux vecteurs (1,2,3) sont bien les mêmes
```

Une comparaison à une valeur manquante (NA) retournera une valeur manquante.

Attention, si vous souhaitez évaluer si une valeur est manquante, il faut utiliser la fonction `is.na(x)` (plutôt que `x == NA` qui est déconseillé).

```
NA < 10 # retourne une valeur manquante (pas de solution à cette condition)

is.na(10) # éviter d'utiliser 10 == NA pour tester si une valeur est manquante
is.na(NA)
is.na(c(1,2,3,NA,5,6,NA,8,9,10))
```

2.4.5 Opérations sur des valeurs logiques

On peut combiner des valeurs logiques avec les opérateurs logiques ET, OU, et NON (négation logique)

- & opérateur ET
- | opérateur OU (sur windows, combinaison de touches altgr + 6 ; sur macOS, combinaison de touche alt + maj + L)
- ! opérateur NON (négation logique : “n’est pas”)

Les résultats attendus d’une combinaison d’opérateurs logiques sont résumés dans les table de vérité ci-dessous.

- Opérateur ET

a	b	a ET b
TRUE	TRUE	TRUE
TRUE	FALSE	FALSE
FALSE	TRUE	FALSE
FALSE	FALSE	FALSE

- Opérateur OU

a	b	a OU b
TRUE	TRUE	TRUE
TRUE	FALSE	TRUE
FALSE	TRUE	TRUE
FALSE	FALSE	FALSE

- Opérateur NON

a	NON a
TRUE	FALSE
FALSE	TRUE

```
## opérateur ET
TRUE & TRUE
TRUE & FALSE
FALSE & TRUE
FALSE & FALSE
(5 > 10) & (2 != 5) # TRUE ET TRUE donne TRUE
(5 > 10) & (2 == 5) # TRUE ET FALSE donne FALSE
(5 < 10) & (2 == 5) # FALSE ET FALSE donne FALSE
```

```
## opérateur OU
TRUE | TRUE
TRUE | FALSE
FALSE | TRUE
FALSE | FALSE
(5 < 10) | (2 != 5) # TRUE OU TRUE donne TRUE
(5 > 10) | (2 != 5) # FALSE OU TRUE donne TRUE
(5 > 10) | (2 == 5) # FALSE OU FALSE donne FALSE

## opérateur NON
!TRUE
!FALSE
!(5 < 10) # non-TRUE donne FALSE
!(5 > 10) # non-FALSE donne TRUE
```

Une opération logique avec une valeur manquante retournera une valeur manquante, sauf si l'information manquante n'est pas bloquante pour l'opération.

```
## opérateur NON
!NA # retourne une valeur manquante

## opérateur ET
TRUE & NA # retourne une valeur manquante
FALSE & NA # retourne une valeur FALSE (car la réponse est fausse, quelle que
           # soit la valeur qui aurait été à la place de NA)

## opérateur OU
FALSE | NA # retourne une valeur manquante
TRUE | NA # retourne une valeur TRUE (car la réponse est vraie, quelle que
          # soit la valeur qui aurait été à la place de NA)
```

Il existe également un opérateur `xor()` correspondant au OU EXCLUSIF (mais il semble peu utilisé en pratique) :

- Opérateur OU EXCLUSIF

a	b	a OU EXCLUSIF b
TRUE	TRUE	FALSE
TRUE	FALSE	TRUE
FALSE	TRUE	TRUE
FALSE	FALSE	FALSE

```
# opérateur OU EXCLUSIF
xor(TRUE, TRUE)
xor(TRUE, FALSE)
xor(FALSE, TRUE)
xor(FALSE, FALSE)
xor((5 < 10), (2 != 5)) # (TRUE) OU exclusif (TRUE) donne FALSE
xor((5 > 10), (2 != 5)) # (FALSE) OU exclusif (TRUE) donne TRUE
xor((2 != 5), (5 > 10)) # (TRUE) OU exclusif (FALSE) donne TRUE
xor((5 > 10), (2 == 5)) # (FALSE) OU exclusif (FALSE) donne FALSE
```

2.5 Les vecteurs atomiques `c()`

2.5.1 Création d'un vecteur atomique

La fonction `c()` (pour concaténer) permet de créer des vecteurs atomiques. Les valeurs d'un vecteur atomique doivent toutes être du même type et séparées par une virgule.

```
## Un vecteur de 3 nombres réels :
vect_dbl <- c(1, pi, 3.54)
print(vect_dbl) # [1] 1.000000 3.141593 3.540000

## Un vecteur de 5 entiers :
vect_int <- c(5L, 4L, -3L, 15L, -8L)
print(vect_int) # [1] 5 4 -3 15 -8

## Un vecteur de 4 chaînes de caractères :
vect_char <- c("a", "B", "XYZ", "HELLO")
vect_char # [1] "a" "B" "XYZ" "HELLO"

## Un vecteur logique :
## pour les valeurs logiques, on peut utiliser les abréviations T pour TRUE,
## et F pour FALSE
vect_logic <- c(TRUE, FALSE, FALSE, F, T, T)
print(vect_logic) # [1] TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE
```

Vous pouvez également combiner plusieurs vecteurs pour créer un vecteur plus long en indiquant plusieurs vecteurs au sein de la fonction `c()`.

```
vect1 <- c(1, 2, 3)
vect2 <- c(4, 5, 6)
vect3 <- c(7, 8, 9)
vect_combine <- c(vect1, vect2, vect3)
vect_combine
# [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9
```

2.5.2 Créer une séquence de valeurs

Pour créer une séquence de nombre entiers, ascendante ou descendante de 1 en 1, vous pouvez utiliser la commande :

```
vect_1a10 <- 1:10 # vecteur ascendant
vect_1a10 # [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

vect_3_a_moins5 <- 3:-5 # vecteur descendant
vect_3_a_moins5 # [1] 3 2 1 0 -1 -2 -3 -4 -5
```

La commande `seq()` permet de définir des séquences de manière plus flexible, grâce aux arguments `from`, `to`, `by`, `length.out`, `along.with` (regardez l'aide `?seq()`).

```
seq(from = 1, to = 10) # vecteur de 1 à 10, équivalent à la commande 1:10
seq(from = 0, to = 10, by = 2) # vecteur de 0 à 10, de 2 en 2

seq(from = 1, to = 50, length.out = 5) # vecteur de 1 à 50, de longueur 5
# les intervalles entre les valeurs sont calculés automatiquement par la formule
```

```
# (valeur de départ - valeur d'arrivée) / (longueur totale - 1)

seq(from = 0, to = 60, along.with = c("dix", "vingt", "trente"))
# vecteur de 0 à 60, dont la longueur est égale à la longueur du vecteur
# c("dix", "vingt", "trente") (sa longueur est de 3)

# avec l'argument 'by', si le cycle ne tombe pas juste, la séquence s'arrête
# avant la dernière valeur indiquée par 'to = '
seq(from = 1, to = 10, by = 2)
# [1] 1 3 5 7 9
# la séquence ne va pas jusqu'à 10, elle s'arrête à 9, car 9 + 2 = 11
# ce qui dépasserait la valeur maximale demandée par 'to = 10'
```

On peut combiner des vecteurs de chaînes de caractères à des vecteurs numériques :

```
paste0("L", seq(from = 1, to = 10))
# on obtient le vecteur :
# "L1" "L2" "L3" "L4" "L5" "L6" "L7" "L8" "L9" "L10"
# dans cet exemple, le vecteur à une seule valeur c("L") est "recyclé" pour être
# concaténé à chacun des éléments du vecteur c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)

paste0(c("A", "B", "C"), seq(from = 1, to = 10))
# on obtient le vecteur :
# "A1" "B2" "C3" "A4" "B5" "C6" "A7" "B8" "C9" "A10"
# ici, le vecteur c("A", "B", "C") est "recyclé" pour être concaténé à chaque
# élément du vecteur seq(1,10)
```

2.5.3 Créer un vecteur de valeurs répétées

La fonction `rep` permet de créer des vecteurs de valeurs répétées. Les arguments `times`, `each`, `length.out` permettent de préciser comment les valeurs doivent être répétées (voir dans l'aide `?rep`)

```
rep(5, times = 3) # répète la valeur 5, 3 fois.
# [1] 5 5 5

rep(1:4, times = 3) # répète 3 fois le vecteur c(1, 2, 3, 4)
# [1] 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4

rep(1:4, each = 3) # chaque élément du vecteur c(1, 2, 3, 4) est répété 3 fois
# [1] 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4

rep(1:4, length.out = 10) # le vecteur c(1,2,3,4) est répété dans un vecteur
# dont la longueur totale est de 10
# [1] 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2
```

2.5.4 Opérations arithmétiques sur un vecteur

On applique une opération arithmétique avec un scalaire (une valeur simple) à chacun des éléments d'un vecteur :

```
## additionne +2 à chaque élément de la séquence c(1,2,3,4,5)
seq(from = 1, to = 5) + 2 # cela donne 3 4 5 6 7

## soustrait -2 à chaque élément de la séquence c(1,2,3,4,5)
```

```
seq(from = 1, to = 5) - 2 # cela donne -1 0 1 2 3

## multiplie par à chaque élément de la séquence c(1,2,3,4,5)
seq(from = 1, to = 5) * 5 # cela donne 5 10 15 20 25

## divise par 5 chaque élément de la séquence c(1,2,3,4,5)
seq(from = 1, to = 5) / 5 # cela donne 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
```

Si vous appliquez une opération arithmétique entre deux vecteurs de même longueur, l'opération se fera entre les 1ers éléments de chaque vecteur, puis entre les 2èmes éléments de chaque vecteur, etc.

```
vec_A <- c(1, 2, 3, 4, 5)
vec_B <- c(-1, +1, -2, +2, -5)

# addition : c((1 + (-1)), (2 + 1), (3 + (-2)), (4 + 2), (5 + (-5)))
vec_A + vec_B # 0 3 1 6 0

# soustraction : c((1 - (-1)), (2 - 1), (3 - (-2)), (4 - 2), (5 - (-5)))
vec_A - vec_B # 2 1 5 2 10

# multiplication : c((1 * (-1)), (2 * 1), (3 * (-2)), (4 * 2), (5 * (-5)))
vec_A * vec_B # -1 2 -6 8 -25

# division : c((1 / (-1)), (2 / 1), (3 / (-2)), (4 / 2), (5 / (-5)))
vec_A / vec_B # -1.0 2.0 -1.5 2.0 -1.0
```

Si vous appliquez une opération arithmétique entre deux vecteurs de longueur différente, l'opération se fera entre les 1ers éléments de chaque vecteur, puis entre les 2èmes éléments de chaque vecteur, etc. Lorsqu'on arrive au bout du vecteur le plus court, les opérations continuent en reprenant à partir de la première valeur du vecteur le plus court (le vecteur est "recyclé"). Un message d'avertissement vous prévient également lorsque la longueur du vecteur le plus long n'est pas un multiple de la longueur du vecteur le plus court (mais cela n'empêche pas l'opération de se faire).

```
vec_A <- c(1, 2, 3, 4, 5)
vec_C <- c(1, 2, 3)

vec_A + vec_C # 2 4 6 5 7
# addition : c((1 + 1), (2 + 2), (3 + 3), (4 + 1), (5 + 2))

vec_A - vec_C # 0 0 0 3 3
# soustraction : c((1 - 1), (2 - 2), (3 - 3), (4 - 1), (5 - 2))

vec_A * vec_C # 1 4 9 4 10
# multiplication : c((1 * 1), (2 * 2), (3 * 3), (4 * 1), (5 * 2))

vec_A / vec_C # 1.0 1.0 1.0 4.0 2.5
# division : c((1 / 1), (2 / 2), (3 / 3), (4 / 1), (5 / 2))
```

2.5.5 Opérations logiques sur un vecteur

On peut faire des opérations logiques sur des vecteurs (voir les tables de vérité plus haut) :


```

### 1) Est-ce que les éléments de c(1,2,3) sont inclus dans c(1,3,5,7,9) ?
c(1, 2, 3) %in% seq(from = 1, to = 9, by = 2)
# TRUE FALSE TRUE
# les valeurs 1 et 3 sont bien comprise dans le vecteur c(1, 3, 5, 7, 9),
# mais pas la valeur 2

### 2) Est-ce que les éléments de c(1,3,5,7,9) sont inclus dans c(1,2,3) ?
seq(from = 1, to = 9, by = 2) %in% c(1, 2, 3)
# TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE
# les valeurs 1 et 3 sont bien comprise dans le vecteur c(1, 2, 3),
# mais pas les valeurs 5, 7 et 9

### 3) opération ET entre les éléments de deux vecteurs logiques
c(TRUE, TRUE, FALSE, FALSE) & c(TRUE, FALSE, TRUE, FALSE)
# TRUE FALSE FALSE FALSE
# 1er élément avec le 1er élément TRUE & TRUE = TRUE
# 2ème élément avec le 2ème élément TRUE & FALSE = FALSE
# 3ème élément avec le 3ème élément FALSE & TRUE = FALSE
# 4ème élément avec le 4ème élément FALSE & FALSE = FALSE

### 4) opération OU entre les éléments de deux vecteurs logiques
c(TRUE, TRUE, FALSE, FALSE) | c(TRUE, FALSE, TRUE, FALSE)
# TRUE TRUE TRUE FALSE
# 1er élément avec le 1er élément TRUE | TRUE = TRUE
# 2ème élément avec le 2ème élément TRUE | FALSE = TRUE
# 3ème élément avec le 3ème élément FALSE | TRUE = TRUE
# 4ème élément avec le 4ème élément FALSE | FALSE = FALSE

```

2.5.5.1 Quelques fonctions logiques utiles

Les fonctions suivantes sont souvent utilisées pour réaliser des opérations logiques :

- la fonction `which()` indique la “position” des réponses vraies dans un vecteur de tests logiques
- la fonction `any()` retourne un résultat `TRUE` si la condition entre parenthèse est vraie pour au moins une des valeurs du vecteur, sinon le résultat est `FALSE`
- la fonction `all()` retourne un résultat `TRUE` si la condition entre parenthèse est vraie pour toutes les valeurs du vecteur, sinon le résultat est `FALSE`

```

## Commençons avec ce vecteur de réels
vect_test <- c(1.5, 5.83, 3.2, 15, 9.99)

## pour connaître la position des valeurs supérieures à 5 dans ce vecteur :
which(vect_test > 5)
# [1] 2 4 5
# la 2ème valeur (5.83), la 4ème valeur (15) et la 5ème valeur (9.99)
# dans le vecteur sont supérieures à 5

## ce sont les positions des réponses 'TRUE' à l'opération logique :
vect_test > 5
# [1] FALSE TRUE FALSE TRUE TRUE

## Est-ce qu'une de ces valeurs est inférieure à 3 ?
any(vect_test < 3) # TRUE

## Est-ce qu'une de ces valeurs est inférieure à 1 ?

```

```
any(vect_test < 1) # FALSE

## Est-ce que l'ensemble de ces valeurs est inférieure à 3 ?
all(vect_test < 3) # FALSE

## Est-ce que l'ensemble de ces valeurs sont supérieures à 1 ?
all(vect_test > 1) # TRUE
```

2.5.6 Principe de coercion

Comme les valeurs d'un vecteur atomique doivent toutes être du même type, si vous combinez des vecteurs dont les valeurs sont de types différents, R va transformer le résultat dans un seul type de valeur, par **coercition** (*coercion*). Les règles de coercion sont les suivantes :

- combiner un vecteur **character** avec d'autres types (**double**, **integer** ou **logical**) résulte en un vecteur **character** (les valeurs sont toutes transformées en format caractère "X")
- combiner un vecteur **double** (réel) avec un **integer** ou **logical** résulte en un vecteur **double** (les entiers sont transformés en réels, et les valeurs logiques TRUE deviennent 1 et FALSE deviennent 0, en format de réels)
- combiner un vecteur **integer** (entier) avec un **logical** résulte en un vecteur **integer** (les valeurs logiques TRUE deviennent 1L, et les valeurs FALSE deviennent 0L, en format d'entiers).

```
vect_dbl <- c(1, pi, 3.54) # un vecteur de réels
vect_int <- c(5L, 4L, -3L, 15L, -8L) # un vecteur d'entiers
vect_char <- c("a", "B", "XYZ", "HELLO") # un vecteur de caractères
vect_logic <- c(TRUE, FALSE, FALSE, F, T, T) # un vecteur logique

## On vérifie ce principe de coercion
vect1 <- c(vect_dbl, vect_int, vect_char, vect_logic)
vect1
typeof(vect1) # "character"

vect2 <- c(vect_dbl, vect_int, vect_logic)
vect2
typeof(vect2) # "double"

vect3 <- c(vect_int, vect_logic)
vect3
typeof(vect3) # "integer"
```

2.5.7 Attributs d'un vecteur

Un vecteur a deux principaux attributs :

- sa **classe**, que l'on peut obtenir avec la fonction `class()`
- sa **longueur**, c'est-à-dire le nombre de valeurs qu'il contient, que l'on peut obtenir avec la fonction `length()`

Pour décrire de manière résumée les attributs d'un vecteur, vous pouvez utiliser la fonction `str()` : cette fonction vous indiquera la classe du vecteur, sa longueur et affichera également les premières valeurs. C'est la fonction qui est appliquée pour décrire les objets dans la fenêtre "environnement" de RStudio.

```
## on reprend les vecteurs vus précédemment :
vect_dbl <- c(1, pi, 3.54)
vect_int <- c(5L, 4L, -3L, 15L, -8L)
```

```

vect_char <- c("a", "B", "XYZ", "HELLO")
vect_logic <- c(TRUE, FALSE, FALSE, F, T, T)

## la fonction class() permet de décrire le type du vecteur
class(vect_dbl) # numeric      Note : ici, R indique le mode "numeric" plutôt que
                #              le type "double"
class(vect_int) # integer
class(vect_char) # character
class(vect_logic) # logical

## la fonction length() permet de décrire la longueur du vecteur (c'est à dire
## le nombre d'éléments qu'il contient)
length(vect_dbl) # 3
length(vect_int) # 5
length(vect_char) # 4
length(vect_logic) # 6

## description sommaire des attributs des vecteurs
str(vect_dbl) # num [1:3] 1 3.14 3.54
str(vect_int) # num [1:3] 1 3.14 3.54
                # note : la fonction str() indique le mode "numeric" plutôt que
                #              que le type "integer"
str(vect_char) # chr [1:4] "a" "B" "XYZ" "HELLO"
str(vect_logic) # logi [1:6] TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE

```

Il est possible d'ajouter des attributs à un vecteur. Les attributs peuvent être considérés comme des méta-données associées au vecteur.

Un des attributs les plus fréquents est de nommer chaque élément d'un vecteur avec la fonction `names()` : on associe un vecteur de noms (en caractères) aux valeurs du vecteur.

```

## par exemple, si on crée le vecteur de réels suivant
sex <- c(1, 1, 2, 1, 2, 2)
names(sex) <- c("homme", "homme", "femme", "homme", "femme", "femme")
sex
# homme homme femme homme femme femme      le nom apparaît au dessus des valeurs
#      1      1      2      1      2      2

## mais on peut nommer les valeurs de façons parfaitement arbitraire :
vect_bizarre <- c(1, 2, 3, 4, 5)
names(vect_bizarre) <- c("un", "trois", "douze", "douze", "2")
vect_bizarre
# un trois douze douze      2      le nom apparaît au dessus des valeurs
# 1      2      3      4      5

```

La fonction `attr()` permet d'obtenir ou de définir un attribut spécifique (pour compléter les méta-données). La fonction `attributes()` indique l'ensemble des attributs associés à un vecteur.

```

## La fonction attr() permet de récupérer des attributs spécifiques
attr(sex, "names")
# [1] "homme" "homme" "femme" "homme" "femme" "femme"

## Cette fonction permet également de définir de nouveaux attributs
## Ci-dessous, on définit un nouvel attribut "var_name" auquel on associe
## la valeur "Sexe du participant" pour stocker la méta-donnée indiquant le
## nom complet de la variable.

```

```

attr(sex, "var_name") <- c("Sexe du participant")
sex
# homme homme femme homme femme femme
#      1      1      2      1      2      2
# attr("var_name")
# [1] "Sexe du participant"

## La fonction attributes() permet de décrire l'ensemble des attributs du vecteur
attributes(sex)
# $names
# [1] "homme" "homme" "femme" "homme" "femme" "femme"
#
# $var_name
# [1] "Sexe du participant"

## On peut récupérer également chaque attribut avec l'opérateur dollar $
attributes(sex)$names
# [1] "homme" "homme" "femme" "homme" "femme" "femme"
attributes(sex)$var_name
# [1] "Sexe du participant"

```

2.5.8 Vecteurs de type factor

Les vecteurs de types **factor** sont utiles pour ajouter certaines contraintes propres aux variables qualitatives. Ce sont des vecteurs qui contiennent uniquement des valeurs prédéfinies (connues dès le protocole de l'expérience). Par exemple, en amont de l'expérience, on peut avoir défini que le niveau d'étude se mesurera avec 3 modalités : "lycée", "bac", et "université".

Cette caractérisation sera utile pour utiliser la variable dans des contextes précis, par exemple :

- dans un modèle de régression (où on veut que le logiciel crée automatiquement des indicatrices pour prendre en compte cette variable qualitative de manière adéquate),
- pour représenter graphiquement la variable (par exemple, identifier automatiquement que ces valeurs doivent être décrites avec un diagramme en barres plutôt qu'en box-plot).
- dans des analyses descriptives, cela permettra d'identifier directement si certaines modalités de réponses n'apparaissent pas au sein des valeurs observées (le décompte pour cette modalité de réponse sera égal à 0).

Les vecteurs de type **factor** sont construits par dessus des vecteurs d'entiers, avec 2 attributs :

- un attribut **class**, qui indique "factor" et permet d'identifier ce vecteur en tant que **factor**.
- un attribut **levels**, qui définit les valeurs possibles (définies a priori). Dans notre exemple, ce sont les 3 valeurs "lycée", "bac", et "université".

Pour créer un vecteur de type factor, on utilise la fonction **factor()**. Par défaut, R va identifier les 3 valeurs uniques présentes dans le vecteur, puis les ranger de la plus petite à la plus grande (selon la valeur numérique ou l'ordre alphabétique) pour créer l'attribut **levels**. L'attribut **levels** est un vecteur de caractères.

```

## Exemple avec une variable mesurant le niveau d'étude :
fact_1 <- factor(c("univ", "bac", "bac", "lycée", "univ", "lycée", "bac"))
fact_1
# [1] univ bac  bac  lycée univ  lycée bac
# Levels: bac lycée univ

```

```
## on peut récupérer les 2 attributs de ce 'factor' avec la fonction attributes()
attributes(fact_1)
# $levels
# [1] "bac"    "lycée" "univ"
# $class
# [1] "factor"

## l'attribut 'levels' est un vecteur de caractères, rangé par ordre alphabétique
attributes(fact_1)$levels
# [1] "bac"    "lycée" "univ"

## Un entier est associé à chaque élément de l'attribut 'levels' :
## - "bac" est associé à 1,
## - "lycée" est associé à 2,
## - "univ" est associé à 3
str(fact_1)
# Factor w/ 3 levels "bac","lycée",...: 3 1 1 2 3 2 1

## si on force par coercion à afficher le vecteur au format d'entiers :
as.integer(fact_1)
# [1] 3 1 1 2 3 2 1
```

On aurait sans doute préféré que l'ordre des `levels` commence avec le “lycée” et termine avec “univ”. Pour cela il est possible de définir nous même le vecteur de levels avec l'argument `levels` de la fonction `factor` :

```
## On utilise l'argument 'levels' directement dans la fonction 'factor' :
fact_1bis <- factor(c("univ", "bac", "bac", "lycée", "univ", "lycée", "bac"),
                    levels = c("lycée", "bac", "univ"))
fact_1bis
# [1] univ  bac   bac   lycée univ  lycée bac
# Levels: lycée bac univ

# cette fois ci, les levels sont dans l'ordre qui nous convient.

## Un entier est associé à chaque élément de l'attribut 'levels', en suivant
## l'ordre de ses éléments
## - "lycée" est associé à 1,
## - "bac" est associé à 2,
## - "univ" est associé à 3

## si on force par coercion à afficher le vecteur au format d'entiers :
as.integer(fact_1bis)
# [1] 3 2 2 1 3 1 2
```

Si la variable qualitative a été codée avec un codage numérique, on peut également appliquer la fonction `factor()`. Prenons l'exemple de la variable “tendance” codée : -1 pour une diminution, 0 pour une stabilité, et 1 pour une augmentation.

```
## Exemple avec une variable mesurant une tendance sous force de codage numérique :
fact_2 <- factor(c(0, 1, 0, -1, 0, 0, -1, 1, -1, 0, 1, 1))
fact_2
# [1] 0  1  0 -1 0  0 -1 1 -1 0  1  1
# Levels: -1 0 1

str(fact_2)
# Factor w/ 3 levels "-1","0","1": 2 3 2 1 2 2 1 3 1 2 ...
```

```
## Après transformation du vecteur en 'factor', les valeurs -1, 0 et 1 vont
## apparaître sous format de caractères "-1", "0" et "1".

## R a identifié automatiquement les 3 valeurs uniques : -1, 0, et 1,
## les a rangé de la plus petite à la plus grande.
attributes(fact_2)
# $levels
# [1] "-1" "0"  "1"
# $class
# [1] "factor"

## Un entier est associé à chaque élément de l'attribut 'levels' :
## "-1" est associé à 1,
## "0" est associé à 2,
## "1" est associé à 3

## si on force par coercion à afficher le vecteur au format d'entiers :
as.integer(fact_2)
# [1] 2 3 2 1 2 2 1 3 1 2 3 3
```

On peut noter que les entiers sur lesquels les vecteurs `factor` sont construits commencent toujours à 1 et augmentent de 1 en 1. Il n'est pas possible de faire autrement (par exemple d'associer une valeur 0 à une des modalités de réponses).

On voit que les vecteurs de type `factor` ne sont pas pratiques pour manipuler de manière flexible le codage de variables qualitatives (attribuer les codes et les étiquettes de manière flexible). Pour une meilleure gestion des méta-données (des noms de variables, des codages et des étiquettes associées aux modalités de réponses), il est préférable de créer une base de données des méta-données. Nous verrons comment faire au chapitre 3.

Les variables qualitatives peuvent également être définies comme des **facteurs ordonnés** avec la fonction `ordered`. Cela peut être utile pour des variables à utiliser dans le cadre de régression multinomiales par exemple. Le comportement d'un vecteur de type `ordered` est très proche de celui d'un `factor` (le type `ordered` est une petite variation du type `factor`).

```
## La variable de niveau d'étude est une variable qualitative ordinale,
## on peut la définir également en tant que vecteur 'ordered'
fact_1ter <- ordered(c("univ", "bac", "bac", "lycée", "univ", "lycée", "bac"),
                    levels = c("lycée", "bac", "univ"))

fact_1ter
# [1] univ  bac   bac   lycée univ  lycée bac
# Levels: lycée < bac < univ
## on voit que R considère que "univ" est supérieur à "bac", lui même supérieur
## à "lycée"

attributes(fact_1ter)
# $levels
# [1] "lycée" "bac"  "univ"
#
# $class
# [1] "ordered" "factor"
## le vecteur est à la fois de type "factor" et de type "ordered"

## Un entier est associé à chaque élément de l'attribut 'levels', en suivant
## l'ordre de ses éléments
## - "lycée" est associé à 1,
## - "bac" est associé à 2,
## - "univ" est associé à 3
```

```
## si on force par coercion à afficher le vecteur au format d'entiers :
as.integer(fact_1ter)
# [1] 3 2 2 1 3 1 2
```

2.5.9 Vecteurs de type Date ou Date-time

Les vecteurs de type `Date` ou `Date-time` sont construits à partir de valeurs réelles, avec un attribut permettant de les prendre en compte comme des “dates” ou des “dates-heures”.

Les **vecteurs de types `Date`** ont un attribut de classe égale à `"Date"`. La valeur réelle sous jacente correspond au nombre de jours depuis le 1er janvier 1970. Le vecteur affiche ses valeurs au format “aaaa-mm-jj” pour indiquer l’année, le mois et le jour, séparés d’un tiret et entre guillemets. On peut saisir des valeurs de dates avec un vecteur de caractères au sein de la fonction `as.Date()`

```
## on saisie un vecteur de 2 dates :
vect_dt <- as.Date(c("1970-01-31", "1971-01-01"))
vect_dt

typeof(vect_dt)
# [1] "double"      les valeurs sous-jacente sont des réels

attributes(vect_dt)
# $class
# [1] "Date"

## si on force le vecteur vect_dt à donner les valeurs au format de réels,
## on retrouve le nombre de jours depuis le 1er janvier 1970.
## (respectivement, 30 jours et 365 jours dans cet exemple)
as.double(vect_dt)
# [1] 30 365
```

Les **vecteurs de types “Date-time”** indiquent une date et une heure. La valeur réelle sous jacente correspond au nombre de secondes depuis le 1er janvier 1970. Ces vecteurs ont deux attributs :

- un attribut de classe égale à `POSIXct` pour *Portable Operating System Interface - calendar time* (ou encore `POSIXlt`, pour *Portable Operating System - local time*, mais ce format semble moins pratique pour une base de données).
- un attribut de fuseau horaire `tz` (pour *time zone*). Cet attribut aura simplement un effet sur l’heure affichée, la valeur réelle sous-jacente reste la même.

Le vecteur affiche ses valeurs au format “aaaa-mm-jj hh:mm” pour indiquer l’année, le mois, le jour, l’heure et les minutes, entre guillemets. On peut saisir des valeurs de dates avec un vecteurs de caractères au sein de la fonction `as.POSIXct()`

```
## on saisie un vecteur de 2 dates-heures :
vect_dt_time <- as.POSIXct(c("1970-01-01 01:30", "1971-01-02 00:00"),
                           tz = "UTC") # pour le fuseau du méridien de Greenwich
vect_dt_time # [1] "1970-01-01 01:30:00 UTC" "1971-01-02 00:00:00 UTC"

typeof(vect_dt_time)
# [1] "double"      les valeurs sous-jacentes sont des réels

attributes(vect_dt_time)
# $class
```

```
# [1] "POSIXct" "POSIXt"
#
# $tzone
# [1] "UTC"

## si on force le vecteur vect_dt_time à donner les valeurs au format de réels,
## on retrouve le nombre de secondes depuis le 1er janvier 1970 à minuit (00:00).
as.double(vect_dt_time)
# [1] 5400 31622400

# Entre le 1er janvier 1970 à minuit et le 1er janvier 1970 à 1h30, il s'est
# écoulé 60 * 90 secondes = 5400 secondes.

## Si vous souhaitez appliquer le fuseau horaire de Paris à ces valeurs :
attr(vect_dt_time, "tzone") <- "Europe/Paris"
vect_dt_time
# [1] "1970-01-01 02:30:00 CET" "1971-01-02 01:00:00 CET"
## la valeur s'affiche avec 1 heure de décalage (par rapport à Londres)
```

2.5.10 Sélection par indexation

Pour sélectionner des sous-ensembles de valeurs au sein d'un vecteur, une des méthodes très utilisée dans R est l'**indexation**, en ajoutant des crochets `[]` à la fin d'un vecteur. L'indexation se fait principalement selon 3 approches :

- en indiquant la **position** des valeurs que l'on veut sélectionner
- en indiquant le **nom** des valeurs que l'on veut sélectionner (définis selon l'attribut **name** du vecteur)
- en indiquant une **condition**, seules les valeurs dont la condition est "vraies" (**TRUE**) seront sélectionnées

2.5.10.1 Indexation sur la position

On peut sélectionner un sous-ensemble d'un vecteur en indiquant entre crochets `[]` la position des valeurs que l'on souhaite sélectionner. Il est également possible d'exclure des valeurs en indiquant un signe `-` devant la position de la valeur.

Si vous indiquez une (ou plusieurs) positions plus grande(s) que la longueur du vecteur, on obtient des données manquantes.

```
## On reprend le vecteur de réels suivant :
vect_test <- c(1.5, 5.83, 3.2, 15, 9.99)

## Pour sélectionner la 4ème valeur (15), on peut utiliser la notation []
vect_test[4]
# [1] 15

## Pour sélectionner la 1ère, la 2ème et la 5ème valeur :
vect_test[c(1, 2, 5)]
# [1] 1.50 5.83 9.99

## l'ordre dans lequel on indique la position définit l'ordre dans lequel le
## résultat est donné :
vect_test[c(5, 1, 2)]
# [1] 9.99 1.50 5.83
```



```
## Pour sélectionner les valeurs en position 3, 4 et 5, on peut utiliser la
## la notation de séquence ":"
vect_test[3:5]
# [1]  3.20 15.00  9.99

## Pour exclure des valeurs de la sélection, on peut utilise le signe "-"
vect_test[-c(1, 2, 5)]
# [1]  3.2 15.0
# il garde la 3ème et la 4ème valeur, après avoir exclu les valeurs aux
# positions 1, 2 et 5

## Si on indique des positions plus grande que la longueur du vecteur,
## on obtient des données manquantes :
vect_test[c(1, 3, 8, 9)]
# [1] 1.5 3.2 NA  NA
```

2.5.10.2 Indexation sur le nom

Il est également possible de sélectionner un sous-ensemble d'un vecteur en indiquant entre crochets [] le nom indiqué dans l'attribut `name` du vecteur.

```
## On reprend les deux vecteurs nommés vus précédemment :
sex <- c(1, 1, 2, 1, 2, 2)
names(sex) <- c("homme", "homme", "femme", "homme", "femme", "femme")
sex
# homme homme femme homme femme femme      le nom apparaît au dessus des valeurs
#      1      1      2      1      2      2

vect_bizarre <- c(1, 2, 3, 4, 5)
names(vect_bizarre) <- c("un", "trois", "douze", "douze", "2")
vect_bizarre
# un trois douze douze      2
# 1      2      3      4      5

## Par exemple en sélectionnant les valeurs de sex nommées "homme", on obtient
sex["homme"]
# homme
#      1

## En sélectionnant les valeurs de vect_bizarres nommées "un" et "trois" :
vect_bizarre[c("un", "trois")]
# un trois
# 1      2

## En sélectionnant les valeurs de vect_bizarres nommées "douze", on obtient
vect_bizarre["douze"]
# douze
#      3

# avec cette méthode d'indexation, on ne peut pas retrouver la deuxième valeur
# associée au nom "douze" (la valeur 4) de vect_bizarre

## Attention, cette méthode d'indexation fonctionne uniquement avec les noms
## donné dans l'attribut name()
## Cela ne fonctionne pas avec les valeurs d'un vecteur caractères :
```

```
sex_char <- c("homme", "homme", "femme", "homme", "femme", "femme")
sex_char
names(sex_char)
# NULL          l'attribut "names" de ce vecteur caractère ne contient rien

sex_char["homme"]
# [1] NA          # l'indexation n'a rien sélectionné car l'attribut names
                  # ne contient aucun nom
```

En pratique, on voit que lorsque l'attribut `names` contient des noms en doublons, seule la première valeur associée à ces noms en est sélectionnée.

2.5.10.3 Indexation sur une condition

Il est enfin possible de sélectionner les valeurs à l'aide d'un vecteur logique de même longueur que le vecteur sur lequel on travaille. Les valeurs en position `TRUE` seront sélectionnées, les valeurs en position `FALSE` seront exclues.

On peut se servir de cette approche pour sélectionner les valeurs en appliquant une opération logique.

```
vect_test <- c(1.50, 5.83, 3.20, 15.00, 9.99)

## On peut indiquer entre crochet les valeurs que l'on veut sélectionner avec
## TRUE dans la position correspondante
vect_test[c(TRUE, FALSE, TRUE, TRUE, FALSE)]
# [1] 1.5 3.2 15.0

## On peut ainsi directement appliquer une condition pour sélectionner les
## valeurs correspondant à cette condition.
## Par exemple, pour sélectionner les valeurs supérieures à 5 :
vect_test[vect_test > 5]
# [1] 5.83 15.00 9.99

## Pour sélectionner les valeurs égales à 5.83 ou à 9.99
vect_test[vect_test == 5.83 | vect_test == 9.99]
# [1] 5.83 9.99

## ou encore
vect_test[vect_test %in% c(5.83, 9.99)]
# [1] 5.83 9.99

## Attention, si vous utilisez en indexation un vecteur logique plus court,
## R va automatiquement recycler le vecteur logique
vect_test[c(TRUE, FALSE, TRUE)]
# [1] 1.5 3.2 15.0

# ici, R a recyclé les valeurs logique en appliquant
# c(TRUE, FALSE, TRUE) au 3 premières valeurs de vect_test, soit 1.5 et 3.2
# puis a recyclé le vecteur logique pour les 3 dernières valeurs de vect_test
# en appliquant c(TRUE, FALSE). Le dernier TRUE n'est pas utilisé
# ce qui sélectionne la 4ème valeur 15.0, mais pas la dernière.
```

2.5.10.4 Assignment par indexation

Cette méthode de sélection des éléments d'un vecteur peut être utilisée pour remplacer certaines valeurs du vecteur.

```
vect_test <- c(1.50, 5.83, 3.20, 15.00, 9.99)

## Par exemple, on veut remplacer les valeurs 5.83 et 9.99 par les valeurs
## 2.2 et une valeur manquante NA

## Ces deux valeurs occupent la position 2 et la position 5 :
vect_test[c(2, 5)] <- c(2, NA)
vect_test
# [1] 1.5 2.0 3.2 15.0 NA
## Les valeurs ont été changées au sein du vecteur
```

2.5.11 Fonctions statistiques pour résumer une série de valeurs

2.5.11.1 Variables quantitatives

Pour décrire les paramètres de la distribution d'une variable quantitative (d'un vecteur de valeurs réelles ou d'entiers), les fonctions suivantes peuvent être utilisées :

- `mean()`, `sd()` et `var()` permettent de calculer respectivement la moyenne, l'écart-type (*standard deviation*) et la variance d'une variable
- `min()`, `max()`, `median()` et `quantile()` permettent de calculer respectivement le minimum, le maximum, la médiane et les quantiles d'une variable. Pour la fonction `quantile`, il faut préciser en argument les probabilités correspondant aux quantiles demandés, par exemple `probs = c(0, 0.25, 0.5, 0.75, 1)` permet d'obtenir le minimum, le 1er quartile (25ème percentile), la médiane (50ème percentile), le 3ème quartile (75ème percentile) et le maximum.
- `sum()` permet de calculer la somme des valeurs, `prod()` permet de calculer le produit des valeurs

Pour toutes ces fonctions, en présence de données manquantes, le résultat sera également une donnée manquante, à moins d'ajouter l'argument `na.rm = TRUE` (*remove NA*) qui supprime les données manquantes et permet de calculer ces paramètres à partir des valeurs non-manquantes.

Note pour la fonction `quantile`: La méthode de calcul des quantiles est donnée par l'argument `type`. Par défaut, la méthode appliquée est le "Type 7", utilisée par le logiciel S (ancêtre du logiciel R). Le logiciel SAS utilise la méthode de "Type 2", les logiciels Stata, SPSS et Minitab utilisent la méthode de "Type 6". En fonction du type choisi, les résultats peuvent être légèrement différents. cf. `?quantile()`

```
## on va calculer les paramètres statistique pour la variable quantitative :
var_quanti <- c(4.5, 2.0, 5.5, 10.4, 8.7, NA, 3.2, 4.0, 1.3, NA, 5.7, 1.7)
# on voit qu'elle contient 2 valeurs manquantes

## Si on applique les fonctions mean(), sd(), etc, le résultat sera manquant
mean(var_quanti) # NA
sd(var_quanti) # NA
var(var_quanti) # NA

## Pour calculer les paramètres après avoir exclu les données manquantes,
## il faut ajouter l'argument 'na.rm = TRUE'
mean(var_quanti, na.rm = TRUE) # 4.7
sd(var_quanti, na.rm = TRUE) # 2.995552
var(var_quanti, na.rm = TRUE) # 8.973333

min(var_quanti, na.rm = TRUE) # 1.3
max(var_quanti, na.rm = TRUE) # 10.4
median(var_quanti, na.rm = TRUE) # 4.25
quantile(var_quanti, probs = c(0, 0.25, 0.5, 0.75, 1), na.rm = TRUE)
```

```
# 0% 25% 50% 75% 100%
# 1.30 2.30 4.25 5.65 10.40

quantile(var_quanti, probs = c(0, 0.25, 0.5, 0.75, 1), na.rm = TRUE, type = 6)
# 0% 25% 50% 75% 100%
# 1.300 1.925 4.250 6.450 10.400
# une autre méthode de calcul des quantiles peut donner des résultats
# légèrement différents (ici type 6 correspond à la méthode de Stata ou de SPSS)

sum(var_quanti, na.rm = TRUE) # 47
prod(var_quanti, na.rm = TRUE) # 722162.4

## La fonction var() applique la formule d'une variance estimée
## à partir d'un échantillon de taille n:
## (somme de (x - moyenne)^2) / (n - 1)
sum((var_quanti[!is.na(var_quanti)] - mean(var_quanti, na.rm = TRUE))^2) / 9
# [1] 8.973333 (ici n-1 = 9, car il y a 10 valeurs non-manquantes)
```

2.5.11.2 Variables qualitatives

Pour décrire une variable qualitative, on peut utiliser les fonctions :

- `table()` qui calcule les effectifs au sein de chaque modalité de réponse
- `prop.table()` ou `proportions()` qui calcule les pourcentages à partir de la fonction `table` précédente.

Les données manquantes sont gérées par l'argument `useNA` avec 3 possibilités :

- `useNA = "no"`, les données manquantes ne sont pas prises en compte (appliqué par défaut)
- `useNA = "ifany"`, les données manquantes sont dénombrées s'il en existe
- `useNA = "always"`, les données manquantes sont toujours dénombrées

```
## on crée 3 variables qualitatives selon 3 formats différents
## (selon un codage numérique, en format caractère, ou en type "factor")
var_quali1 <- c(0, 2, NA, 1, 2, 0, 1, NA, 1, 2, 0, 1, 1)
var_quali2 <- c("homme", "homme", NA, "femme", "homme", "femme", "femme", NA,
               "homme", "femme", "femme", "homme", "femme")
var_quali3 <- factor(c("collège", "univ", "bac", "bac", "univ", NA, "collège",
                      "bac", "bac", "collège", NA, "univ"),
                    levels = c("primaire", "collège", "bac", "univ"))

## la fonction table permet de dénombrer le nombre de réponses par modalité
table(var_quali1)
# var_quali1
# 0 1 2
# 3 5 3
# la valeur 0 apparaît 3 fois, la valeur 1 apparaît 5 fois, la valeur 2 apparaît
# 3 fois

table(var_quali2)
# var_quali2
# femme homme
#      6      5

table(var_quali3)
```

```

# var_quali3
# primaire collège    bac    univ
#      0      3      4      3
## On note que pour la variable de type "factor", R décrit les résultats pour
## l'ensemble des modalités possibles (ici, 4 modalités possibles, même si
## aucun résultat "primaire" n'a été observé). C'est un des intérêts des
## vecteurs de type "factor".

## Ce ne serait pas le cas avec un vecteur de type caractère :
table(as.character(var_quali3))
# bac collège    univ
#  4      3      3    ici la catégorie "primaire" n'est pas décomptée !
#                               de plus les valeurs sont rangées par ordre alphabétique
#                               plutôt que l'ordre indiqué dans l'attribut 'levels'
#                               du vecteur de type 'factor'.

## Les pourcentages peuvent ensuite être obtenus à partir de ces tables
## avec la fonction prop.table() ou proportions()
prop.table(table(var_quali1))
# var_quali1
#      0      1      2
# 0.2727273 0.4545455 0.2727273    (c'est à dire 27.3%, 45.4% et 27.3%)

prop.table(table(var_quali2))
# var_quali2
#   femme   homme
# 0.5454545 0.4545455    (54.5% de femmes et 45.5% d'hommes)

prop.table(table(var_quali3))
# var_quali3
# primaire collège    bac    univ
#      0.0      0.3      0.4      0.3    (0%, 30%, 40% et 30%)

## si on applique l'argument useNA = "ifany", les manquants sont considérées
## comme une modalité de réponse en tant que telle
table(var_quali2, useNA = "ifany")
# var_quali2
# femme homme <NA>    # ici la modalité <NA> est ajoutée
#      6      5      2
proportions(table(var_quali2, useNA = "ifany"))
# var_quali2
#   femme   homme   <NA>
# 0.4615385 0.3846154 0.1538462 # les % sont calculés sur les 3 catégories

## Si on applique l'argument useNA = "always", la catégorie manquante est ajoutée
## comme précédemment
table(var_quali2, useNA = "always")
# var_quali2
# femme homme <NA>
#      6      5      2

## Si on applique l'argument useNA = "always" a une variable qui n'a pas de
## données manquante, la colonne NA sera quand même ajouté (et compte 0 manquant)
table(c("homme", "homme", "femme", "homme", "femme", "femme",
        "homme", "femme", "femme", "homme", "femme"),

```

```

    useNA = "always")
# femme homme <NA>
#      6      5      0

```

Il est également utile de connaître la fonction `unique` qui liste les valeurs qui apparaissent au moins une fois dans un vecteur.

```

## Par exemple avec la variable :
var_quali <- c("homme", "home", NA, "femme", "homme", "femme", "femme", NA,
              "homme", "femme", "Femme", "homme", "femme")
unique(var_quali)
# [1] "homme" "home" NA      "femme" "Femme"
# on voit que Femme et home font partie des réponses données,
# cela peut correspondre à des erreurs de saisie (une majuscule a été donnée
# à une réponse "femme" et une réponse "homme" a été saisie avec un "m" manquant)

```

2.6 Les listes `list()`

Les **listes** sont des **vecteurs dont les éléments peuvent être de différents types et de différentes dimensions**. Par exemple, une même liste peut contenir des vecteurs, des matrices, des bases de données, des fonctions ... (une liste peut même contenir d'autres listes !)

2.6.1 Création d'une liste

Pour créer une liste, on utilise la fonction `list()`. Chaque élément de la liste est séparé par une virgule. Par exemple, on crée ci-dessous un liste qui contient 6 éléments :

- 1) un vecteur d'entiers, de longueur 10
- 2) un vecteurs de réels, de longueur 4
- 3) un vecteurs de chaînes de caractères, de longueur 3
- 4) un vecteur logique, de longueur 7
- 5) une matrice de 5 lignes et 2 colonnes
- 6) une base de données de 3 variables avec 10 valeurs chacune

```

exemple_list <- list(1:10, # un vecteur séquentiel d'entiers, de longueur 10
                    c(1.5, pi, 14, 6.48), # un vecteur de réels
                    c("aa", "hello", "TOULOUSE"), # un vecteur de caractères
                    c(TRUE, TRUE, FALSE, TRUE, FALSE, FALSE, FALSE), # logique
                    matrix(data = 1:10, nrow = 5, ncol = 2), # un matrice
                    data.frame(id = 1:10, # une base de données
                                sex = c(1,2,1,1,1,2,2,1,2,2),
                                age = c(49,23,43,50,40,37,20,47,26,44)))

exemple_list
# [[1]]
# [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
#
# [[2]]
# [1] 1.500000 3.141593 14.000000 6.480000
#
# [[3]]
# [1] "aa"      "hello"   "TOULOUSE"
#
# [[4]]

```

```
# [1] TRUE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
#
# [[5]]
#      [,1] [,2]
# [1,]    1    6
# [2,]    2    7
# [3,]    3    8
# [4,]    4    9
# [5,]    5   10
#
# [[6]]
#      id sex age
# 1     1   1  49
# 2     2   2  23
# 3     3   1  43
# 4     4   1  50
# 5     5   1  40
# 6     6   2  37
# 7     7   2  20
# 8     8   1  47
# 9     9   2  26
# 10    10   2  44
```

2.6.2 Attributs d'une liste

Comme pour les vecteurs atomiques, les listes ont un attribut de classe (`class()`) et de longueur (`length()`).

```
class(exemple_list)
# [1] "list"
length(exemple_list)
# [1] 6           # notre liste d'exemple contient 6 éléments
```

L'attribut `name` est permet de nommer les différents éléments d'une liste.

```
names(exemple_list) <- c("vect_int", "vect_dbl", "vect_char", "vect_logic",
                        "mat", "df")

attributes(exemple_list)
# $names
# [1] "vect_int"  "vect_dbl"  "vect_char" "vect_logic" "mat"  "df"

exemple_list
# $vect_int                                # les noms remplacent
# [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10                 # la numérotation
#                                           # précédente :
# $vect_dbl                                # [[1]], [[2]], [[3]],
# [1] 1.500000 3.141593 14.000000 6.480000  # [[4]], [[5]], [[6]]
#
# $vect_char
# [1] "aa"      "hello"     "TOULOUSE"
#
# $vect_logic
# [1] TRUE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
#
```

```
# $mat
#      [,1] [,2]
# [1,]    1    6
# [2,]    2    7
# [3,]    3    8
# [4,]    4    9
# [5,]    5   10
#
# $df
#      id sex age
# 1    1   1  49
# 2    2   2  23
# 3    3   1  43
# 4    4   1  50
# 5    5   1  40
# 6    6   2  37
# 7    7   2  20
# 8    8   1  47
# 9    9   2  26
# 10  10   2  44
```

2.6.3 Indexation des éléments d'une liste

On peut sélectionner un seul élément d'une liste :

- par indexation sur la position, avec un double crochet `[[]]`
- ou par indexation sur le nom, avec l'opérateur dollar `$`

On peut sélectionner un ou plusieurs éléments d'une liste :

- par indexation sur la position des éléments, avec un simple crochet `[]`
- par indexation à l'aide d'un vecteur de noms, avec un simple crochet `[]`

```
## Sélection d'un seul élément dans une liste
## - par indexation sur la position avec le double crochet [[ ]]
exemple_list[[5]]
#      [,1] [,2]
# [1,]    1    6
# [2,]    2    7
# [3,]    3    8
# [4,]    4    9
# [5,]    5   10

## - par indexation sur le nom, avec l'opérateur dollar $
exemple_list$vect_dbl
# [1] 1.500000 3.141593 14.000000 6.480000

## l'opérateur dollar est une notation abrégée d'une indexation par le nom
## entre double crochet :
exemple_list[["vect_dbl"]]

## Sélection d'un ou plusieurs éléments dans une liste avec le simple crochet :
## Par exemple, pour sélectionner les élément 1 (vect_int), 2 (vect_dbl),
## et 5 (matrice nommée "mat")
```



```

exemple_list[c(1, 2, 5)]
# $vect_int
# [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
#
# $vect_dbl
# [1] 1.500000 3.141593 14.000000 6.480000
#
# $mat
#      [,1] [,2]
# [1,]    1    6
# [2,]    2    7
# [3,]    3    8
# [4,]    4    9
# [5,]    5   10

## On obtient le même résultat avec les noms des éléments, dans un vecteur
## de caractères entre simples crochets :
exemple_list[c("vect_int", "vect_dbl", "mat")]

```

Remarque : les attributs d'un objet sont stockés sous un format de liste

```

fact_1bis <- factor(c("univ", "bac", "bac", "lycée", "univ", "lycée", "bac"),
                    levels = c("lycée", "bac", "univ"))

attributes(fact_1bis)
# $levels
# [1] "lycée" "bac"   "univ"
#
# $class
# [1] "factor"

length(attributes(fact_1bis))
# [1] 2

class(attributes(fact_1bis))
# [1] "list"

## les attributs de fact_1bis sont une liste contenant 2 vecteurs :
## - 1 vecteur nommé "levels", de caractères, de longueur 3
## - 1 vecteur nommé "class" contenant la valeur "factor"

```

2.7 Les matrices matrix()

Une matrice est une table contenant des données, dont les dimensions sont données par :

- le nombre de lignes (en premier)
- le nombre de colonnes (en deuxième)

Par exemple, une matrice de dimensions (5, 3) est une table de 5 lignes et 3 colonnes.

Dans R, **une matrice est un vecteur avec un attribut de dimensions**, indiquant le nombre de lignes et de colonnes.

2.7.1 Création d'une matrice

On peut créer une matrice à partir d'un vecteur (d'entiers, de réels, de caractères ou de valeurs logiques) auquel on ajoute un attribut de dimension avec la fonction `dim()`.

```
## A partir du vecteur d'entiers de 1 à 15,
seq_1a15 <- 1:15
seq_1a15
# [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
class(seq_1a15)
# [1] "integer"

## on va créer une matrice de dimensions (5, 3) en ajoutant un attribut de
## dimensions avec la fonction dim()
dim(seq_1a15) <- c(5, 3)
seq_1a15
#      [,1] [,2] [,3]
# [1,]    1    6   11
# [2,]    2    7   12
# [3,]    3    8   13
# [4,]    4    9   14
# [5,]    5   10   15
class(seq_1a15)
# [1] "matrix" "array" # la classe de l'objet est maintenant une matrice

attributes(seq_1a15) # le vecteur seq_1a15 a un nouvel attribut nommé "dim"
# $dim
# [1] 5 3

## A noter que si l'on attribue une dimension de matrice qui ne correspond pas à
## la longueur du vecteur, cela nous donne un message d'erreur
dim(seq_1a15) <- c(7, 2) # matrice de 7 lignes et 2 colonnes = 14 valeurs
dim(seq_1a15) <- c(4, 4) # matrice de 4 lignes et 4 colonnes = 16 valeurs
```

A noter qu'avec cette méthode, les valeurs ont été rangées par colonne, en 3 colonnes de 5 lignes.

Il est possible d'ajouter un attribut de noms de lignes et un attribut de noms de colonnes à un objet de classe `matrix`, avec les fonctions `rownames()` et `colnames()`.

```
## Ajouter un attribut de nom de lignes :
rownames(seq_1a15) <- c("id_1", "id_2", "id_3", "id_4", "id_5")

## Ajouter un attribut de nom de colonnes :
colnames(seq_1a15) <- c("aa", "bb", "cc")
seq_1a15
#      aa bb cc
# id_1  1  6 11
# id_2  2  7 12
# id_3  3  8 13
# id_4  4  9 14
# id_5  5 10 15

attributes(seq_1a15)
# $dim
# [1] 5 3
#
# $dimnames
```

```
# $dimnames[[1]]
# [1] "id_1" "id_2" "id_3" "id_4" "id_5"
#
# $dimnames[[2]]
# [1] "aa" "bb" "cc"

## Les attributs du vecteur "seq_1a15" sont une liste de deux attributs :
## 1) la dimension de la matrice, nommée "dim"
## 2) les noms des dimensions (nommée "dimnames"), qui est une liste contenant :
##    - le vecteur dimnames[[1]] (noms des lignes)
##    - le vecteur dimnames[[2]] (noms des colonnes)
```

Pour créer une matrice, on peut également utiliser la fonction `matrix()` qui permet d'indiquer directement les arguments :

- `nrow` = et `ncol` = pour définir le nombre de lignes et de colonnes
- `byrow` = qui permet de ranger les valeurs par lignes (en indiquant `TRUE`) ou de les ranger par colonne (en indiquant `FALSE`)
- `dimnames` permet d'indiquer une liste contenant un vecteur de nom de lignes et un vecteur de nom de colonnes.

```
## On utilise la fonction matrix()
mat1 <- matrix(1:15, # le vecteur de valeurs à utiliser
              nrow = 5, # 5 lignes
              ncol = 3, # 3 colonnes
              byrow = FALSE, # range les valeur par colonne (pas par rang)
              dimnames = list(c("id_1", "id_2", "id_3", "id_4", "id_5"),
                             c("aa", "bb", "cc")))

mat1
#      aa bb cc
# id_1  1  6 11
# id_2  2  7 12
# id_3  3  8 13
# id_4  4  9 14
# id_5  5 10 15

attributes(mat1)
# $dim
# [1] 5 3
#
# $dimnames
# $dimnames[[1]]
# [1] "id_1" "id_2" "id_3" "id_4" "id_5"
#
# $dimnames[[2]]
# [1] "aa" "bb" "cc"

## on peut choisir de ranger les valeurs par rang plutôt que par colonne :
mat2 <- matrix(1:15, # le vecteur de valeurs à utiliser
              nrow = 5, # 5 lignes
              ncol = 3, # 3 colonnes
              byrow = TRUE) # range les valeur par rang +++

mat2
#      [,1] [,2] [,3]
# [1,]    1    2    3
# [2,]    4    5    6
```

```
# [3,]    7    8    9
# [4,]   10   11   12
# [5,]   13   14   15
```

Il est possible de **combiner deux matrices** :

- par rangs avec la fonction `rbind()`
- ou par colonnes avec fonction `cbind()`

```
## Combiner les 2 matrices, mat1 et mat2, par rang :
rbind(mat1, mat2)
#      aa bb cc
# id_1  1  6 11
# id_2  2  7 12
# id_3  3  8 13
# id_4  4  9 14
# id_5  5 10 15
#      1  2  3
#      4  5  6
#      7  8  9
#     10 11 12
#     13 14 15

## Combiner les 2 matrices, mat1 et mat2, par colonne :
cbind(mat1, mat2)
#      aa bb cc
# id_1  1  6 11  1  2  3
# id_2  2  7 12  4  5  6
# id_3  3  8 13  7  8  9
# id_4  4  9 14 10 11 12
# id_5  5 10 15 13 14 15
```

2.7.2 Sélection par indexation au sein d'une matrice

Il est possible de sélectionner une partie de la matrice en indiquant la ligne et la colonne qui nous intéressent, avec la méthode d'indexation par simple crochet `[,]`. On indique entre crochets : les lignes que l'on veut sélectionner, suivies d'une virgule, puis les colonnes que l'on veut sélectionner.

L'indexation fonctionne :

- sur la position (en indiquant les numéros de lignes et de colonnes entre crochets)
- ou sur le nom (en indiquant les noms de lignes et de colonnes entre crochets)
- ou sur un vecteur logique pour les lignes et un vecteur logique pour les colonnes

```
## on reprend la matrice mat1 définie précédemment
mat1
#      aa bb cc
# id_1  1  6 11
# id_2  2  7 12
# id_3  3  8 13
# id_4  4  9 14
# id_5  5 10 15

## Pour sélectionner la valeur au croisement de la ligne 3 et de la colonne 2 :
```

```
mat1[3,2] # [1] 8

## Pour sélectionner une ligne entière, on indique juste une position de ligne
## (valeur avant la virgule entre crochets) :
mat1[3,]
# aa bb cc
# 3 8 13      # c'est la 3ème ligne de la matrice

## Pour sélectionner une colonne entière, on indique juste une position de
## colonne (valeur après la virgule entre crochets) :
mat1[,2]
# id_1 id_2 id_3 id_4 id_5
# 6 7 8 9 10      # valeurs au sein de la 2ème colonne

## Pour sélectionner les valeurs au sein des colonnes 1 et 3,
## et des lignes 3, 4 et 5 :
mat1[3:5, c(1,3)]
#      aa cc
# id_3 3 13
# id_4 4 14
# id_5 5 15

## On peut obtenir les mêmes sélections en utilisant les noms de lignes et de
## colonnes :
mat1["id_3", "bb"] # croisement de la ligne 3 et de la colonne 2
mat1["id_3",] # sélection de la 3ème ligne
mat1[, "bb"] # sélection de la 2ème colonne
mat1[c("id_3", "id_4", "id_5"), c("aa", "cc")] # lignes 3 à 5 ; colonnes 1 et 3

## On peut obtenir les mêmes sélections en utilisant des vecteurs logiques :
mat1[c(FALSE, FALSE, TRUE, FALSE, FALSE), c(FALSE, TRUE, FALSE)]
mat1[c(FALSE, FALSE, TRUE, FALSE, FALSE),]
mat1[, c(FALSE, TRUE, FALSE)]
mat1[c(FALSE, FALSE, TRUE, TRUE, TRUE), c(TRUE, FALSE, TRUE)]
```

2.7.3 Collection de plusieurs matrices, `array()` ♠

Il est possible d'ajouter des dimensions à l'attribut `dim()` : cela combine plusieurs matrices de même dimension au sein d'une "collection" de matrices (*array*).

Les dimensions d'un *array* sont définies par la fonction `dim()` :

- les deux premiers chiffres indiquent le nombres de lignes et de colonnes des matrices (comme précédemment)
- le 3ème chiffre indique le nombre de matrices que l'on veut combiner
- il est possible d'ajouter encore d'autres dimensions pour faire des *arrays* dans des *arrays* ...

Par exemple, on peut ranger les valeurs de 1 à 30 dans un *array* de deux matrices de dimensions (5, 3)

```
## A partir du vecteur d'entiers de 1 à 30,
seq_1a30 <- 1:30

## on va créer un array de dimensions (5, 3, 2) en ajoutant un attribut de
## dimensions avec la fonction dim()
dim(seq_1a30) <- c(5, 3, 2)
seq_1a30
```

```

# , , 1
#
#      [,1] [,2] [,3]
# [1,]    1    6   11
# [2,]    2    7   12
# [3,]    3    8   13
# [4,]    4    9   14
# [5,]    5   10   15
#
# , , 2
#
#      [,1] [,2] [,3]
# [1,]   16   21   26
# [2,]   17   22   27
# [3,]   18   23   28
# [4,]   19   24   29
# [5,]   20   25   30
class(seq_1a30)
# [1] "array" # la classe de l'objet est maintenant un "array"

## On peut ajouter un attribut de noms aux différentes dimensions à l'aide d'une
## liste de noms :
dimnames(seq_1a30) <- list(noms_rang = c("id_1", "id_2", "id_3", "id_4", "id_5"),
                           noms_col = c("aa", "bb", "cc"),
                           noms_mat = c("mat_1", "mat_2"))

attributes(seq_1a30) # le vecteur seq_1a30 a un attribut de dimension à 3 valeurs
# $dim
# [1] 5 3 2
#
# $dimnames
# $dimnames$noms_rang
# [1] "id_1" "id_2" "id_3" "id_4" "id_5"
#
# $dimnames$noms_col
# [1] "aa" "bb" "cc"
#
# $dimnames$noms_mat
# [1] "mat_1" "mat_2"

seq_1a30 # à présent, les noms de matrices, de rangs et de colonnes apparaît
# à la place des numéros

```

La sélection par indexation fonctionne de la même manière que pour les matrices, mais avec une dimension supplémentaire à ajouter : avec 3 valeurs (ou 3 vecteurs de valeurs) séparées par une virgule entre simples crochets [, ,]

```

## pour sélectionner la valeur à l'intersection de la 4ème ligne et 3ème colonne,
## au sein de la 2ème matrice :
seq_1a30[4,3,2] # [1] 29

## Si on sélectionne uniquement la 4ère ligne des deux matrices
seq_1a30[4,,]
#      noms_mat
# noms_col mat_1 mat_2
#      aa      4      19

```

```
#      bb      9      24
#      cc     14     29
## Le résultat n'est pas intuitifs : les 2 lignes ont été réassemblée sous
## forme de matrice à 2 colonnes !

## On peut sélectionner uniquement la 3ème colonne des deux matrices
seq_1a30[,3,]
#      noms_mat
# noms_rang mat_1 mat_2
#      id_1     11     26
#      id_2     12     27
#      id_3     13     28
#      id_4     14     29
#      id_5     15     30

## On peut sélectionner uniquement la 2ème matrice
seq_1a30[, ,2]
#      noms_col
# noms_rang aa bb cc
#      id_1 16 21 26
#      id_2 17 22 27
#      id_3 18 23 28
#      id_4 19 24 29
#      id_5 20 25 30
```

2.8 Les bases de données `data.frame()`

Le format de base des bases de données dans R est le `data.frame()`.

Un `data.frame` correspond à une liste de vecteurs atomiques ayant tous la même longueur (la longueur des vecteurs correspondant au nombre d'individus dans la base de données).

Un *data frame* peut donc être manipulé comme on manipule une liste. Il peut combiner des vecteurs atomiques de différents types (réels, entiers, chaînes de caractères, logiques, facteurs, date, date-heure, etc), et où chaque vecteur peut être nommé (l'attribut `name` permet d'attribuer des noms aux variables).

Vous pouvez récupérer différents exemples de base de données disponibles dans R base, dont la liste est disponible en tapant `library(help = "datasets")`.

```
## Par exemple la base 'women' contient 15 observations de taille (en pouces) et
## poids (en livres) de femmes américaines
?women

women
#      height weight
# 1       58     115
# 2       59     117
# 3       60     120
# 4       61     123
# 5       62     126
# 6       63     129
# 7       64     132
# 8       65     135
# 9       66     139
# 10      67     142
# 11      68     146
```

```
# 12      69      150
# 13      70      154
# 14      71      159
# 15      72      164

class(women)
# [1] "data.frame"
```

2.8.1 Création d'un *data frame*

On peut créer un `data.frame` contenant différents types de variables avec la fonction `data.frame()`.

```
## Par exemple, on crée une base de données de 10 individus et 4 variables :
df <- data.frame(id = c(1:10),
                 age = c(42.5, 27.9, 60, 74.5, 38, 25.2, 53.4, 46.6, 34.2, 39.6),
                 sex = c("M", "F", "F", "M", "M", "F", "M", "F", "F", "M"),
                 dt_vis = c("2025-12-08", "2025-02-04", "2022-04-22",
                           "2023-10-29", "2023-01-31", "2024-12-17",
                           "2025-09-13", "2025-11-07", "2022-04-25",
                           "2023-08-02"))
```

```
df
#   id age sex   dt_vis
# 1  1 42.5  M 2025-12-08
# 2  2 27.9  F 2025-02-04
# 3  3 60.0  F 2022-04-22
# 4  4 74.5  M 2023-10-29
# 5  5 38.0  M 2023-01-31
# 6  6 25.2  F 2024-12-17
# 7  7 53.4  M 2025-09-13
# 8  8 46.6  F 2025-11-07
# 9  9 34.2  F 2022-04-25
# 10 10 39.6  M 2023-08-02
```

Les fonctions `head()` et `tail()` permettent de visualiser les premières
et les dernières lignes d'une base de données

```
head(df)
#   id age sex   dt_vis
# 1  1 42.5  M 2025-12-08
# 2  2 27.9  F 2025-02-04
# 3  3 60.0  F 2022-04-22
# 4  4 74.5  M 2023-10-29
# 5  5 38.0  M 2023-01-31
# 6  6 25.2  F 2024-12-17
```

```
tail(df)
#   id age sex   dt_vis
# 5  5 38.0  M 2023-01-31
# 6  6 25.2  F 2024-12-17
# 7  7 53.4  M 2025-09-13
# 8  8 46.6  F 2025-11-07
# 9  9 34.2  F 2022-04-25
# 10 10 39.6  M 2023-08-02
```

la fonction `View()` de R studio permet de visualiser la base de donnée


```
View(df)

## cet objet est de class "data.frame"
class(df)

## Un data.frame est bien un objet de format "list" :
is.list(df) # [1] TRUE

## Un data.frame est une liste qui possède des attributs de noms de variables
## de class et de noms de rangs :
attributes(df)
# $names
# [1] "id"      "age"      "sex"      "dt_vis"
#
# $class
# [1] "data.frame"
#
# $row.names
# [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

## On peut ainsi récupérer les noms des variables avec la fonction 'names()'
names(df)
# [1] "id"      "age"      "sex"      "dt_vis"
## l'attribut 'names' est un vecteur de caractère dont la longueur est égale
## au nombre de variables

## un data frame a 2 dimensions correspondant au nombre de lignes et de colonnes
## (comme une matrice)
dim(df)
# [1] 10 4      # il y a bien 10 lignes et 4 colonnes
```

2.8.2 Sélection par indexation

On peut sélectionner une variable en appliquant le même principe que pour sélectionner un élément d'une liste :

- par indexation du numéro de la variable entre double crochet `[[]]`
- par indexation du nom de la variable entre double crochet `[[]]`, ou bien en utilisant l'opérateur dollar `$` suivi du nom de variable

```
## Sélection par la position de la variable age (2ème variable de la base)
df[[2]]
# [1] 42.5 27.9 60.0 74.5 38.0 25.2 53.4 46.6 34.2 39.6

## Sélection par le nom de la variable age
df[["age"]]
# [1] 42.5 27.9 60.0 74.5 38.0 25.2 53.4 46.6 34.2 39.6

## Sélection de la variable age par l'opérateur dollar,
df$age # équivalent à df[["age"]]
# [1] 42.5 27.9 60.0 74.5 38.0 25.2 53.4 46.6 34.2 39.6
```

On peut sélectionner le croisement de une (ou plusieurs) ligne(s) et de une (ou plusieurs) colonnes comme pour les matrices, en utilisant les simples crochets où les lignes et les colonnes correspondantes sont séparées par une virgule `[,]`

- par indexation sur la position de la ligne et de la colonne,
- par indexation sur le nom de la ligne et le nom de la variable
- ou en utilisant un vecteur logique de conditions

```
## On peut sélectionner la position des lignes 2,4 et 9,
## et des colonnes "age" et "sex" (colonnes 2 et 3)
df[c(2, 4, 9), c(2, 3)]
#   age sex
# 2 27.9  F
# 4 74.5  M
# 9 34.2  F

## On peut également sélectionner sur le noms des lignes et des colonnes
df[c("2", "4", "9"), c("age", "sex")] # donne le même résultat

## On peut mélanger les différents types d'indexation
df[c(2, 4, 9), c("age", "sex")]

## On peut sélectionner les lignes correspondant à une condition,
## par exemple, sélectionner les lignes correspondant aux femmes de plus de 40 ans
df[df$sex == "F" & df$age > 40, c("age", "sex")]
#   age sex
# 3 60.0  F
# 8 46.6  F
```

Il est également possible d'utiliser la fonction `subset()`, qui prend pour arguments `subset` = avec des conditions pour sélectionner des lignes (sous la forme d'une condition), et `select` = pour sélectionner des colonnes (avec les noms de colonnes souhaitées).

```
## On peut sélectionner les colonnes id, age et sex,
## chez les femmes de plus de 40 ans
subset(df, # base de donnée
       subset = c(sex == "F" & age > 40), # sous-ensemble de lignes
       select = c(id, age, sex)) # sous-ensemble de colonnes
#   id age sex
# 3  3 60.0  F
# 8  8 46.6  F
```

2.8.3 Autres formats de bases de données

D'autres formats de bases de données ont été proposés dans R, notamment :

- les `tibble` qui sont associés à l'environnement `tidyverse`
- les `data.table` associées au package `data.table`

Pour le début de la formation, nous allons nous concentrer sur les bases au format `data.frame` (qui sont le format R base des bases de données). Nous verrons ensuite comment utiliser les formats `tibble` et `data.table`.